

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-,
Ohrenkrankheiten der Freien Universität Berlin
im Städt. Krankenhaus Westend
Direktor: Professor Dr. med. Hans Heinz Naumann

Zu den technischen Voraussetzungen für die Tonschwellenaudiometrie

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Felshart, Klaus-Jürgen
aus Berlin

1960

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-,
Ohrenkrankheiten der Freien Universität Berlin
im Städt. Krankenhaus Westend
Direktor: Professor Dr. med. Hans Heinz Naumann

Zu den technischen Voraussetzungen für die Tonschwellenaudiometrie

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Felshart, Klaus-Jürgen
aus Berlin

Dekan : Professor Dr.med. Hans Wolfgang S p i e r
Referent : Professor Dr.med. Hans Heinz N a u m a n n
Koreferent : Professor Dr.med. Dietrich P e l l n i t z



Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Freien Universität Berlin.

Promoviert am: 26.2. 1968

1.) Einleitung	3
a) Kurzer geschichtlicher Rückblick über die Entwicklung der Audiometrie	3
b) Ursachen die zur Themenwahl führten	4
c) Aufgabenstellung der Arbeit.	5
2.) Der Vergleich verschiedener Hörertypen	5
a) Unterschiedliche Normalhörschwellen verschiedener Auto- ren bzw. Normen.	5
b) Vergleich verschiedener Hörertypen	6
I.) Durch die objektive Methode mit einem Sondenmi- krophon	6
II.) Mit der subjektiven, überschwelligen Methode. . .	7
III.) Subjektiv, durch Schwellenbestimmung mit einem Hörer Beyer DT 48 mit Flach- und Hohlmuffen . . .	7
c) ISO-Kupplerschwellenschalldrucke für verschiedene Hörer typen	9
3.) Errechnung der Sollwerte für Atlas Audiometer mit Hörer DT 48	12
4.) Bestimmung der Sollwerte für Tonschwellenaudiometer mit Hörer Holmberg Sk 1250	15
5.) Untersuchung von 40 in West-Berlin stehenden Audiometern .	19
6.) Bestimmung der Sollwerte der Klemmenspannung von Audiometern	27
7.) Eichstand der Audiometer durch Messung der Klemmenspannung, parallel zum Kopfhörer	30
8.) Übersicht über die Ursachen, die zu einer Verfälschung der Audiogramme führen können.	34
a) falsch geeichte Audiometer	34
b) Frequenzabweichungen im Audiometer	34
c) Spannungsschwankungen.	34
d) Unzulässige Fehler in der Intensitätsstufung	35
e) Netzbrumm und Geräusche.	35
f) Ungenügende Untersuchungstechnik	35
g) Schlechter Hörersitz	36
h) Klirrfaktor	36
i) Übermüdung - Medikamente	38

9.) Unter welchem Lärmpegel werden Hörprüfungen in der Praxis durchgeführt	39
10.) Verbesserungsforderungen	41
11.) Zusammenfassung	42
12.) Tabellen	
I Normalhörschwelle	44
II Eichpegel für Atlas Audiometer mit Hörer DT 48	45
III Eichpegel für Beoton Audiometer mit Hörer Holmberg.Sk 1250.	46
IV Kupplerschalldruckpegel von 11 in West-Berlin stehenden Atlas EM 42 Audiometern	47
V Kupplerschalldruckpegel von 11 in West-Berlin stehenden Atlas EM 40 Audiometern	48
VI Kupplerschalldruckpegel von 16 in West-Berlin stehenden Beoton Audiometern.	49
VII Klirrfaktor bei Atlas EM 42 (bei 100 dB SPL) .	50
VIII Klirrfaktor bei Atlas EM 42 und EM 40 (80 dB SPL)	51
IX Klirrfaktor bei Beoton Audiometer	52
X Übertragungsmaß von Holmberg Sk 1250 am Kuppler	53
XI Eichpegel der Klemmenspannung für Atlas EM 40 und EM 42	54
XII Eichpegel der Klemmenspannung für Beoton Audiometer.	55
13.) Literaturverzeichnis.	56
14.) Danksagung	64
15.) Lebenslauf	65

1. Einleitung

a) Kurzer geschichtlicher Rückblick über die Entwicklung der Audiometrie

Die Einschränkung oder der Verlust des Gehörs ist für die Betroffenen eine so offenkundige Störung in der Umweltbeziehung, dass sie wohl zu keiner Zeit der Menschheitsgeschichte übersehen wurde. Anfang des 19. Jahrhunderts beginnen die intensiven Bemühungen, diese Verluste messbar zu erfassen. Die ersten Beobachtungsmethoden verwenden die unterschiedlich laute Sprache, das Uhrenticken sowie andere einfache Hilfsmittel (30).

1802 wurde von WOLKE (63) das erste Akumeter, ein Ton erzeugendes Gerät, zum Zweck der Hörprüfung entwickelt. Ein weiterer Schritt in der Entwicklung der Hörprüfung wurde von BURCKHARDT und MERIAN (13) 1878 getan. Sie führten die von GALTON 1876 erfundene Lippenpfeife, deren Tonhöhe durch eine Millimeterschraube verstellbar ist, in die Otologie ein. FRIEDRICH BEZOLD (6) kommt das Verdienst zu, mit seiner kontinuierlichen Tonreihe 1894 eine, das ganze Hörfeld umfassende Höruntersuchung angeregt zu haben.

Gleichzeitig stellten 1919 SCHAEFER und GRUSCHKE (52) sowie GRIESMANN und SCHWARZKOPF (33) das erste mit Elektronenröhren arbeitende Hörprüfgerät der Berliner Otologischen Gesellschaft vor. Damit war der Anfang für unsere heutigen Audiometer geschaffen.

Hörschwellenmessungen mit exakten Angaben der Schallintensität in physikalischen Maßeinheiten wurden zuerst 1903 von MAX WIEN (60) vorgenommen.

Im großen Stil führten während der Weltausstellung 1939/40 STEINBERG, MONTGOMERY und GARDNER (57) an über 1/2 Million Menschen Hörschwellenbestimmungen durch. Bis zur Normung der Hörschwelle in Amerika vergingen jedoch noch über 10 Jahre. In Deutschland wurde die Normalhörschwelle 1961 genormt (27). Schon vor 1961 fielen die Unterschiede zwischen an deutschen und ausländischen Audiometern durchgeführten Hörprüfungen auf. Die häufigste und wichtigste Ursache für die unterschiedlichen Audiogramme sind technischer Art und liegen im Audiometer begründet.

b) Ursachen die zur Themenwahl führten

Die deutschen und ein großer Teil der ausländischen Herstellerfirmen eichten bisher ihre Geräte nach werkseigenen Vorschriften. Es bestanden keine Absprachen der Firmen untereinander, ihre Geräte auf ein bestimmtes Niveau abzustellen. So weisen in aller Regel verschiedene Audiometer unterschiedliche Eichpegel auf. Wir messen deshalb jedem mitgebrachtem Audiogramm nur bedingten Wert bei.

Die von einigen Ärzten angewandte Praxis, das Audiometer subjektiv nachzueichen, ist nach HAHNBROCK (35), v. ARENTS-SCHILD (1) abzulehnen. Notwendige Reparaturen werden größtenteils nicht im Werk des Herstellers durchgeführt. Die damit verbundene Nacheichung erfolgt, soweit es bisher zu unserer Kenntnis gelangte, dann subjektiv durch die örtliche Werkstatt nicht in der Weise wie die Eichung im Werk. Der Eichstand dieser Audiometer war untereinander nicht gleich, auch entsprach er nicht den bekannten Normen.

c) Aufgabenstellung der Arbeit

Die Aufgabe dieser Arbeit war es:

- a) die in West-Berlin erreichbaren Audiometer auf ihren Eichstand zu prüfen,
- b) die unterschiedlichen Übertragungsfaktoren der verschiedenen Kopfhörertypen bei Verwendung unterschiedlicher Muffen zu untersuchen,
- c) Sollwerte für Audiometer mit Hörer Beyer DT 48 mit Flach- und Hohlmuffen sowie für Audiometer mit Hörer Holmberg Sk 1250 zu bestimmen,
- d) und weitere Fehler zu untersuchen, die Veränderungen im Tonaudiogramm ergeben können,
- e) Eichvorschriften für die Audiometer unserer Klinik auszuarbeiten.

2. Der Vergleich verschiedener Hörertypen

=====

Um die Unterschiede im Übertragungsmaß zwischen zwei Hörertypen verschiedener Bauart festzustellen, wurden von MRASS und BROCKER (45) subjektive und objektive Vergleichfahren angewandt und außerdem die Hörschwelle bestimmt. Als Grundlage diente dieser Messung die von MRASS und DIESTEL (46) bestimmte Hörschwelle, die später in Deutschland genormt wurde (27).

- a) Unterschiedliche Normalhörschwellen verschiedener Autoren bzw. Normen

Da die Hörschwelle keine objektive Größe ist, haben andere

Autoren (9,14,16,17,31,55,57,58) auch voneinander abweichende Normalhörschwellen gefunden. In Amerika lag die genormte Hörschwelle bis 1964 nach der ASA Z. 24.5.-1951 schlechter, so dass der wirklich Normalhörende scheinbar besser als in Deutschland hörte. Um eine verbindliche Grundlage zu schaffen, wurde 1964 eine internationale Normalhörschwelle geschaffen und für bestimmte Hörer genormt ISO R 389 (40).

b) Vergleich verschiedener Hörertypen

Die der Normalhörschwelle entsprechende Schwellenspannung muss bei Hörern verschiedener Bauart durch ein objektives oder subjektives Vergleichsverfahren ermittelt werden, da zwei Hörer unterschiedlicher Bauart sich nicht am Kuppler vergleichen lassen (45). Die DIN 45620 verlangt dafür einen subjektiven Lautstärkevergleich mit dem Hörer Beyer DT 48 mit Flachmuffen (27).

I.) Durch die objektive Methode mit einem Sondenmikrophon

Bei der objektiven Methode (38) wird an einer Reihe von 10 - 15 Versuchspersonen die Differenz zwischen den Spannungspegeln bestimmt, die an den Hörerklemmen benötigt werden, um einen gleichen Schalldruck zu erzeugen. Die Messung des Schalldrucks erfolgt über ein Sondenmikrophon, das sich jeweils am Eingang des Gehörganges befindet. Die Differenz der Spannungspegel ist gleich der Differenz der Schwellenspannungspegel der beiden Hörer unter

der unbewiesenen Voraussetzung, dass die beiden Hörer verschiedener Bauart gleich laut empfunden werden, wenn sie den gleichen Schalldruck erzeugen. Diese Einschränkung erscheint notwendig, nachdem HARRIS (37) bei Schalldruckmessungen mit Hörern verschiedener Bauart bei gleicher subjektiver Lautheit für tiefe Frequenzen Schalldruckdifferenzen am Sondenmikrophon bis zu 10 dB festgestellt hat. Wenn sich dies bestätigen würde, wäre die Voraussetzung allerdings unzulässig.

II.) Mit der subjektiven, überschwelligen Methode

Bei dem überschwelligen subjektiven Vergleichsverfahren zur Justierung verschiedener Hörertypen wird nach HOLZER und DIEMLING (38) an einem Hörer DT 48 ein Schalldruck entsprechend 40 dB Hörverlust erzeugt und dann durch subjektiven Vergleich am zweiten Hörer die gleiche Lautstärke eingestellt. Dafür werden 15 normalhörende Personen benötigt. Auch für die Eichung der Knochenleitungshörer kann dieses Verfahren angewandt werden.

III.) Subjektiv durch Schwellenbestimmung mit Hörer Beyer DT 48 mit Flach- und Hohlmuffen

In vielen Kliniken, so auch bei uns, werden neben Hörer DT 48 mit Hohl- und Flachmuffen, auch die Typen Sk 1250 (Holmberg) und TDH 39 (Telephonics) verwandt. Um Audiometer mit verschiedenen Hörern eichen zu können, ist die Kenntnis der Differenz der Schwellenspannungspegel sowie des Übertragungsfaktors der Kopfhörer am Kuppler notwendig. Der Hörer DT 48 wird serienmäßig mit Flach- oder Hohlmuffen ausgestattet. Der Kupp-

lerschwellenschallpegel für den Hörer DT 48 mit Flachmuffen wurde in der DIN 45620 (27) und zuletzt international in der ISO R 389 (40) festgelegt. Zum Vergleich des Hörers DT 48 mit einer Hohlmuffe, wird nur die Differenz der Schwellenspannungspegel gebildet. Diesen Wert erhalten wir durch Bestimmung der Hörschwellen.

Für diese Zwecke wurden von mir an 12 normalhörenden Personen Schwellenbestimmungen mit einem Hörer, nur durch Wechseln der Hörerkissen vorgenommen. Um Fehler durch Hörenlernen auszuschließen, wurde im Wechsel einmal die Flachmuffe, das andere Mal die Hohlmuffe zuerst benutzt. Abb.1 zeigt einen Vergleich unserer Meßergebnisse mit entsprechenden Untersuchungen, die von H.G. Schmitt (private Mitteilung) sowie der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig (45) ausgeführt wurden. Bei den Werten der PTB muss angenommen werden, dass dort ein Vorzeichenfehler unterlaufen ist. Mehrfache Nachmessungen bestätigten uns das. Die Werte der PTB wurden deshalb mit umgekehrten Vorzeichen in die Abb. 1 aufgenommen. Die größte Abweichung zwischen unseren Werten und denen der PTB lag so bei 2000 Hz mit 3 dB. Größere Abweichungen zwischen diesen beiden Muffentypen fand H.G. Schmitt (private Mitteilung) an 20 Dreifachprüfungen bei 8000 Hz. Die Streubreiten bei H.G. Schmitt um den errechneten Mittelwert liegen bei ± 5 dB.

Die Differenz der Schwellenspannungspegel zwischen Hörer DT 48 mit Flachmuffen und Holmberg Sk 1250 ist schon von MRASS und BOCKER (45) bestimmt worden. Durch subjektive Schwellenbestimmung an 20 normalhörenden Ohren konnten wir diese Werte, ebenso wie in Abb. 1 mit der Einschränkung des umgekehrten Vorzeichens, bestätigen (Abb. 2).

c) ISO-Kupplerschwellenschalldrucke für verschiedene Hörertypen
Immer mehr ausländische Firmen drängen auf den deutschen Markt für Hörprüfgeräte. Nur in wenigen Fällen werden deutsche Hörer an diesen Audiometern benutzt. Um einen Vergleich zwischen den geläufigsten Hörertypen zu erhalten,

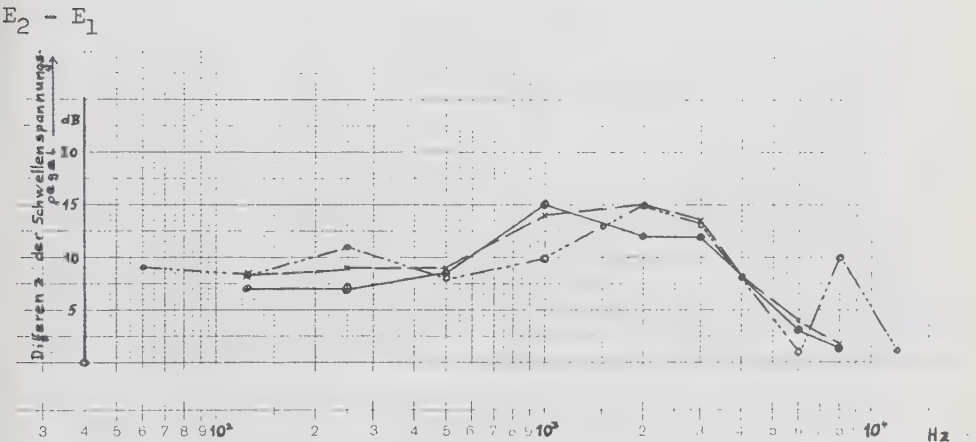


Abb. 1: Differenz der Schwellenspannungspegel $E_2 - E_1$

zweier Hörer.

Hörer 1 : Beyer DT 48 mit flachem Kissen

Hörer 2 : Beyer DT 48 mit schrägem Wulstkissen

- — — — ○ Messung nach MRASS und BOCKER (45) +)
- — — — ○ Messung nach H.G. SCHMITT (Leiter der audiometrischen Abt. an der HNO Universitätsklinik Würzburg - private Mitteilung)
- — — — ○ eigene Messung

+) In der angeführten Arbeit wurden die Werte mit $E_1 - E_2$ angegeben. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Verfasser sich im Vorzeichen geirrt haben.

habe ich die von WHITTLE und ROBINSON (59) mit verschiedenen Hörern mit dem 9A Kuppler bestimmten Kupplerschwellenschalldruckwerte für die englische Normalhörschwelle (9) auf die internationale Normalhörschwelle (40) umgerechnet. Für den Hörer Telefonics TDH 39 werden in der Tabelle I Seite 44 zwei Werte angegeben. DIESTEL (26) führte subjektive Vergleichsmessungen mit Kopfhörer DT 48 durch. Dabei wurden der TDH 39 und der DT 48 nacheinander auf das gleiche Ohr z.B. das rechte Ohr gesetzt.

$E_1 - E_2$

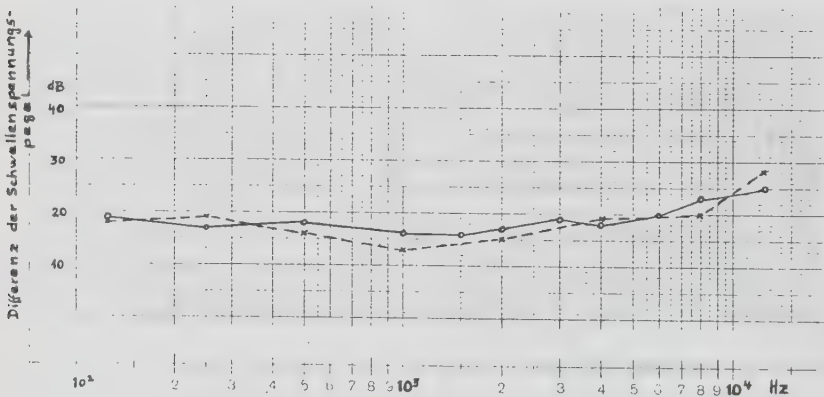


Abb. 2: Differenzen der Schwellenspannungspegel $E_1 - E_2$ zweier Hörer .

Hörer 1: Homberg Sk 1250

Hörer 2: Beyer DT 48 mit Flachmuffen

---○ Messung nach MRASS und BOCKER (45) +)

—○ eigene Messung

+) In der angeführten Arbeit wurden die Werte mit $E_2 - E_1$ angegeben. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Verfasser sich im Vorzeichen geirrt haben.

Die Versuchsperson verglich die Lautstärke eines gut hörbaren konstanten Tones eines dritten Kopfhörers am linken Ohr mit einem der beiden Hörer am rechten Ohr. Aus einer Reihe von Einzelmessungen wird ermittelt, welche Spannungspegel notwendig sind, um den am rechten und linken Ohr sitzenden Kopfhörer als gleichlaut zu empfinden. Danach wird über den 9A Kuppler kalibriert und der Kupplerschwellenschallpegel errechnet.

Bei WHITTLE und ROBINSON (59) wurde die Methode, wie die Verfasser zu ihren Werten kommen, nicht näher beschrieben. Eine Erklärung, wie die zum Teil großen Differenzen von über 10 dB zustande kommen, ist daher nicht möglich.

Diese Werte erlauben es, in einfacher Weise für die verschiedenen Audiometerfabrikate die Eichwerte zu erreichen.

(Für Atlas-Audiometer mit Hörer DT 48 siehe eigenes Kapitel).

3. Errechnung der Sollwerte für Atlas-Audiometer mit Hörer DT 48

Die internationale Hörschwelle wurde an 18 - 30-jährigen normalhörenden und niemals am Ohr erkrankten Probanden in mehreren Ländern gleichzeitig bestimmt.

Bis zur Einführung der ISO R389 im Nov. 1964 hatte jedes Land seine eigene Hörschwelle. Die Abb. 3 zeigt einen Vergleich zwischen der neuen internationalen Norm, der ASA und der DIN (weitere Vergleiche dazu siehe Literaturanhang in (32)).

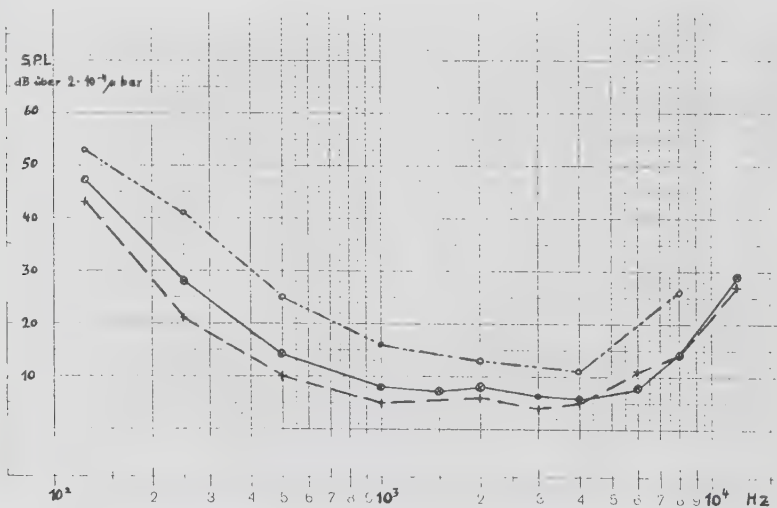


Abb. 3: Schalldruckpegel am 9A Kuppler für Hörer Beyer DT 48
(Bezugsschwelle für Audiometer) (47).

- Amerikanische Schwelle (bis 1964 gültig)
- Deutsche Schwelle (noch gültig)
- Internationale Schwelle (seit 1964 anzuwenden)

Die Basis der Audiometereichung bilden die Kupplerschwellenschallpegel der ISO R 389 in der Tabelle II, Zeile 1 auf der Seite 45. Diese ISO-Werte beziehen sich auf den Meßhörer Beyer DT 48 mit Flachmuffen. Bei Verwendung anderer Hörer oder Muffen werden subjektive Vergleichsmessungen mit dem Hörer DT 48 nach der DIN 45620 gefordert.

Das künstliche Ohr wurde in den Vereinigten Staaten vom National Bureau of Standards in Washington entwickelt (2,5). Er wird auch 9A Kuppler bezeichnet und besitzt eine Druckkammer von ca. 6 cm^3 Luftvolumen. Der Schalldruck aus dem dicht aufsitzenden Hörer wird mit einem geeichten Kondensatordruckkammernmikrophon über ein Röhrenvoltmeter gemessen. Die unterschiedliche Stärke einzelner Kissen eines Typs läßt am Ohr keine nachweisbaren Fehler entstehen, am Kuppler jedoch kann es durch die geringere Dämpfung zu stärkeren Resonanzüberhöhungen oberhalb 4000 Hz kommen (46). Es hat sich deshalb als zweckmäßig erwiesen, vor der Messung des Hörers über den Kuppler, das Gummikissen zu entfernen und einen Adapter zu benutzen. Der Adapter verhindert Resonanzüberhöhungen nicht, macht sie jedoch reproduzierbar.

Der Adapter besteht aus Metall und wurde von der PTB-Braunschweig entwickelt (46).

Eine Korrektur für unser Bruel & Kjaer Druckkammernmikrophon 4132 Nr. 100 883 im Kuppler zum O-Wert ist für die Frequenzen 8000 und 12000 Hz angegeben in der Tabelle II Zeile 2 (Seite 45). Diese Werte werden von den ISO-Hörschwellenwerten subtrahiert.

Der Mindestintensitätsbereich der Reintonaudiometer ist in der DIN 45620 für die einzelnen Frequenzen festgelegt. Um eine Übersteuerung der Verstärker im Audiometer und der Hörerkapseln, und damit das Auftreten von Fehlern zu verhindern (z.B. falsche Intensitäten, Klirren), dürfen die von den Firmen für die verschiedenen Frequenzen in ihren Prospekten angegebenen Maximalintensitäten nicht überschritten werden.

Bei der Eichung von Atlas Audiometer haben wir zunächst die Frequenzschiene auf 1024 Hz und hierfür den Hörverlustschieber auf 100 dB gebracht. Damit der Lärmpegel im Raum und die Fremdspannung im Röhrenvoltmeter, vor allem bei tiefen Frequenzen, nicht zur Verfälschung der Messung führen, sind hohe Intensitäten zu wählen. Zur Eichung anderer Frequenzen haben wir dann nur noch den Frequenzschieber verändert, so dass für jede Frequenz mit einem anderen Hörverlustwert geprüft wurde. Der eingestellte Hörverlustwert für 1024 Hz ist zum korrigierten Hörschwellenwert zu addieren (Tabelle II, Zeile 3, Seite 45). Davon haben wir die Hörverlustwerte für Audiometer Atlas, die von der Schablone des Intensitätsschiebers am Audiometer zu entnehmen sind, subtrahiert. Als Ergebnis erhalten wir den Sollwert vom Hörer DT 48 mit Flachmuffen für unsere Eichmethode (Tabelle II, Zeile 5, Seite 45). Dies ist der errechnete Wert, den ein Audiometer bei einer in der Tabelle angegebenen Intensität über den 9A-Kuppler bei unserem Meßverfahren ergeben muss.

4. Bestimmung der Sollwerte für Tonschwellenaudiometer mit
=====

Hörer Holmberg Sk 1250
=====

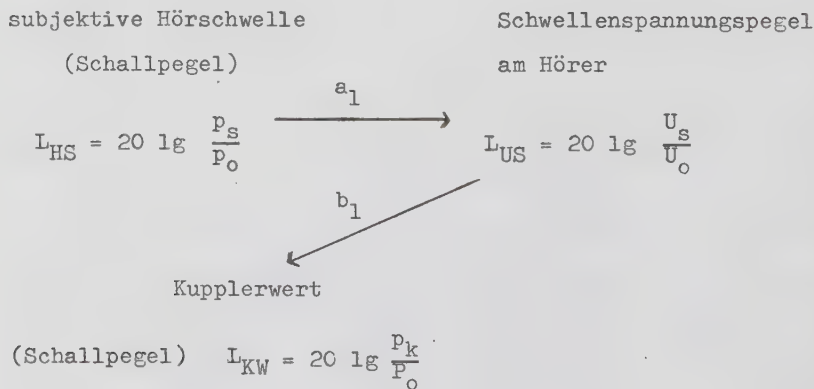
Der Hörer Beyer DT 48 mit Flachmuffen wird als Meßhörer für DIN und ISO verwandt. Für Hörer anderer Bauart oder anderer Muffen verlangt DIN 45620 einen subjektiven Lautstärkevergleich mit dem Normalhörer.

Bei normalhörenden Ohren haben wir die Schwellenspannungspegel für einen Holmberg Sk 1250 und einen Beyer DT 48 Hörer mit Flachmuffen gemessen. In wechselnder Reihenfolge wurde einmal der Beyer- und das andere Mal der Holmberg-hörer zuerst benutzt. Mit nur geringen Abweichungen konnten wir die Ergebnisse von MRASS und BOCKER bestätigen Abb. 2. (Wie auf Seite 8 erwähnt, haben wir die Werte von MRASS und BOCKER mit umgekehrten Vorzeichen verstanden.)

Zwei Hörer unterschiedlicher Bauart lassen sich am Kuppler nicht vergleichen (45). Um einen Vergleich durchführen zu können, musste erstens der Übertragungsfaktor der beiden Hörer am Kuppler bestimmt werden. Dafür wurden von einem Tongenerator eine so hohe Spannung in den Hörer gegeben, dass der vom Hörer erzeugte Ton weit über dem Störlärmpegel des Raumes lag. Für jede Frequenz einzeln wurden die abgegebenen Schalldrucke über das künstliche Ohr gemessen. Als Frequenzanalysator verwendeten wir ein Bruel & Kjaer-Gerät Typ 2107 B.

Zweitens benötigen wir die Differenz der Schwellenspannungspegel (Hörschwelle) zwischen den Hörern, in unserem Fall: Holmberg Sk 1250 und Beyer DT 48 mit Flachmuffen. Für die Hörer mit Flachmuffen sind die Kupplerschwellenschallpegel aus der ISO bekannt (40). Mit den Hörern DT 48 und Sk 1250 wurde, um die Differenz der Schwellenspannungspegel bilden zu können, an 20 Ohren subjektiv die Hörschwelle bestimmt (siehe Schema). Die subjektive Hörschwelle für die Hörer 1 und 2 mit den Werten a_1 und a_2 als logarithmische Übertragungsmaße, ergeben die Schwellenspannungspegel (siehe Schema). Die Zahlenwerte der Differenz der Schwellenspannungspegel der Hörer 1 und 2 sind in der Tabelle III Zeile 1 auf der Seite 46 eingetragen.

Hörer 1 (Holmberg Sk 1250):



p_s = Schwellen-Schalldruck am Gehörgang

p_k = Schwellen-Schalldruck im Kuppler

p_o = Bezugsschalldruck (beliebig aber konstant; üblich

$$2 \cdot 10^{-4} \text{ bar; } 1 \text{ bar})$$

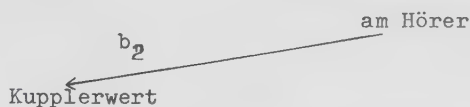
U_s = Schwellenspannung am Hörer

U_o = Bezugsspannung (beliebig aber konstant; üblich 1V;

$$0,775 \text{ V})$$

Hörer 2 (Beyer DT 48 mit Flachmuffen):

subjektive Hörschwelle $\xrightarrow{a_2}$ Schwellenspannungspegel



a, b logarithmische Übertragungsmaße

$$a = 20 \lg \frac{U_s}{U_o} \cdot \frac{p_o}{p_s}$$

$$b = 20 \lg \frac{p_k}{p_o} \cdot \frac{U_o}{U_s}$$

$$\text{also } a + b = 20 \lg \frac{p_k}{p_s}$$

$$\text{da Hörschwelle}_1 = HS_2 = HS$$

setzen wir voraus, dass auch beide Schwellenschalldrucke

p_{s1} , p_{s2} übereinstimmen

$$L_{HS} + a_1 + b_1 = \text{Kupplerwert}_1 L_{KW1} \quad (1)$$

$$L_{HS} + a_2 + b_2 = \text{Kupplerwert}_2 L_{KW2} \quad (2)$$

$$(a_1 - a_2) + (b_1 - b_2) = L_{KW1} - L_{KW2} \quad (1) - (2)$$

$(a_1 - a_2)$ = Differenz der Schwellenspannungspegel

$(b_1 - b_2)$ = Differenz der Hörerübertragungsfaktoren
am Kuppler

Da die subjektiven Vergleichsmessungen mit dem DT 48 Hörer mit F l a c h m u f f e n durchgeführt wurden, sind die Sollwerte für Audiometer mit dem gleichen Kissen als Ausgangsbasis unserer Rechnung zu wählen (Tabelle III, Zeile 4, Seite 46). Die Sollwerte nach Tabelle III, Zeile 4 gelten für die Festeinstellung 100 dB SPL (absolut) am Atlas Audiometer; verändert wird dann nur die Frequenz. In der Zeile 5 sind die zugehörigen Hörverlustwerte für die verschiedenen Frequenzen angegeben. In der folgenden Zeile 6 (Tabelle III) sind die entsprechenden Hörverlustwerte angegeben, bei denen wir die Eichung für Audiometer mit Hörer Holmberg Sk 1250 durchführen. Die Differenz zwischen diesen beiden Einstellungen steht in der Zeile 7.

Die Sollwerte des Schallpegels am 9A Kuppler mit Spezialadapter bei dem Hörer Holmberg Sk 1250 für die in Zeile 6 angegebenen Hörverlusteinstellungen am Beoton Audiometer ergibt sich nun als Summe der in Zeile 4, 3, und 7 angegebenen Pegelwerte.

5. Die Untersuchung von 40 in West-Berlin stehenden
=====

Audiometern
=====

Eine regelmäßige Untersuchung der Reintonaudiometer durch eine Eichbehörde wird bisher nicht durchgeführt. Die Unterschiede zwischen Audiogrammen der gleichen Patienten, die sowohl bei uns als anderweitig untersucht worden waren, haben uns veranlaßt, eine allgemeine Überprüfung der Audiometer in West-Berlin auf ihren Eichstand vorzunehmen. 40 Audiometer konnten in Praxen, Kliniken, Betrieben und Versicherungen überprüft werden.

50 % der Audiometer waren seit 4 Jahren oder länger ohne eine Überprüfung des Eichstandes in Betrieb.

Im einzelnen waren folgende Prüfungen durchzuführen:

- 1.) subjektiv mit dem eigenen Ohr auf Netzbrumm
Schalterknacken und andere Geräusche
- 2.) Eichstand der Audiometer über das künstliche
Ohr
- 3.) Klemmenspannung am Audiometer, parallel zum
Hörer
- 4.) Intensitätsstufen am Audiometer
- 5.) Abstand der Harmonischen zum Schalldruckpegel
der Grundfrequenz am Hörer
- 6.) Störschallpegel im Raum

Allein durch die subjektive Prüfung mit dem Ohr konnten zwei Geräte wegen des Netzbrumms bzw. des lauten Rauschens als unbrauchbar für Hörschwellenmessungen erkannt werden.

Zur Überprüfung des Eichstandes wurden ein Röhrenvoltmeter der Firma Bruel & Kjaer Typ 2603 sowie ein Kuppler mit Druckkammermikrophon Typ 4132 Nr. 100883 der gleichen Firma benutzt.

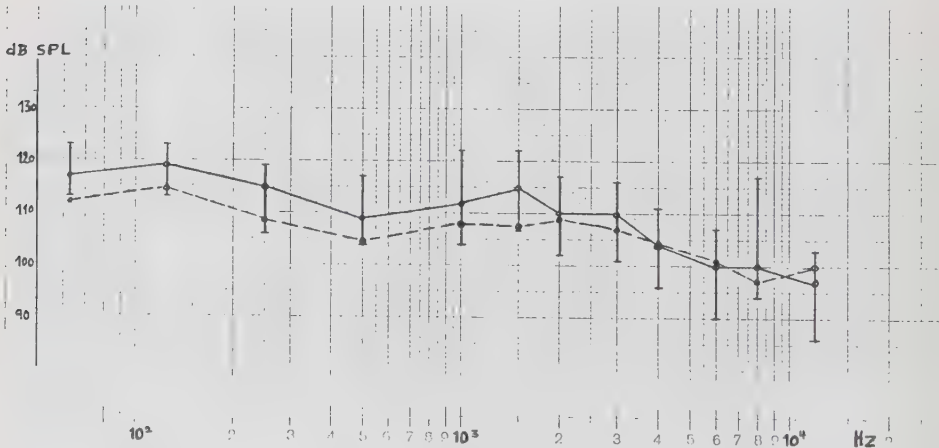


Abb. 4: Schalldruckpegel am 9AKuppler bei verschiedenen Frequenzen mit errechneten arithmetischen Mittelwert von 11 Audiometern Atlas EM 42 mit Hörer Beyer DT 48 (mit Flachmuffen) bei der Einstellung des Pegelreglers bei 1024 Hz auf 100 dB.

- - - - ○ Sollwert für Hörer DT 48 mit Flachmuffen
nach ISO R 389
- — — — ○ arithmetischer Mittelwert

Für Atlas Audiometer wurde eine Festeinstellung 100 dB Hörverlust bei 1024 Hz von uns gewählt (siehe Seite 14). Zur Prüfung des Eichstandes wurde nur noch der Frequenzschieber verstellt. Wegen der Frequenzabhängigkeit der menschlichen Hörschwelle entstand also bei diesem Verfahren bei jeder Frequenz eine andere Hörverlust-dB-Einstellung.

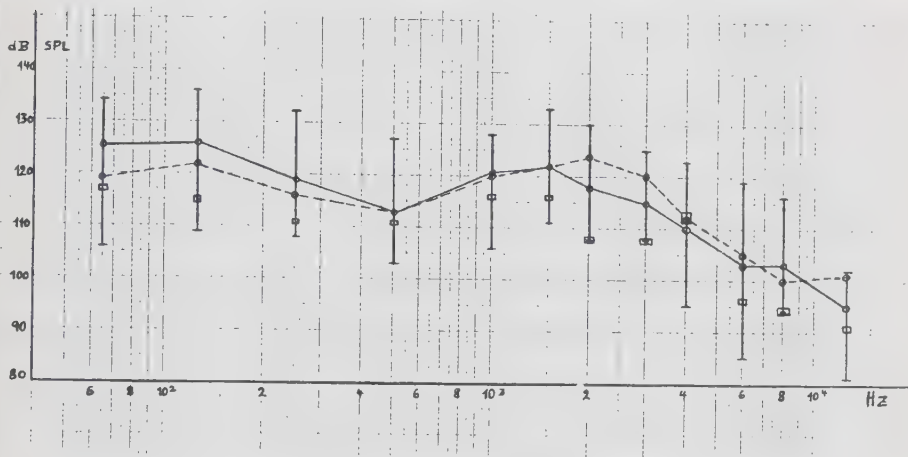


Abb. 5: Schalldruckpegel am 9A Kuppler bei verschiedenen Frequenzen mit errechneten arithmetischen Mittelwert von 11 Atlas Audiometern EM 40 mit Hörer Beyer DT 48 (mit Hohlmuffen) bei der Einstellung des Pegelreglers bei 1024 Hz auf 100 dB.

- arithmetische Mittelwerte
- Sollwert für Hörer DT 48 mit Hohlmuffen nach ISO R 389 (Tab. II, Zeile 7, Seite 45)
- Eichstand eines neu (1965) gelieferten Atlas EM 40-Gerätes

Die Streubreiten geben die Abbildungen 4 und 5 als Differenz zwischen Maximal- und Minimalschallpegeln der 23 Atlas Audiometer mit Hörer Beyer DT 48 mit Flach- und Hohl-muffen wieder. Die errechneten arithmetischen Mittelwerte im dB-Maßstab, sind als Kurve eingezeichnet. Unter dem Sollwert ist der Rechenwert zu verstehen, den ein Audiometer über den 9A Kuppler nach unserem Verfahren ergeben sollte (siehe Tabelle II; Seite 45). Zum Vergleich sind die Sollwerte in den Abbildungen 4 und 5 besonders eingezeichnet. In den Tabellen IV und V auf Seite 47 und 48 sind die einzelnen frequenzabhängigen Zahlenwerte der vorgefundenen dB SPL am 9A Kuppler bei der Einstellung des Pegelreglers bei 1024 Hz auf 100 dB für die in West-Berlin erreichbaren Atlas Audiometer wiedergegeben. Die errechneten arithmetischen Mittelwerte und Sollwerte wurden in den Tabellen IV und V eingetragen (Seite 47 und 48). Die absolute Streuung vom Sollwert und die Standardabweichung vom Mittelwert wurden frequenzabhängig errechnet und können aus den Tabellen IV und V entnommen werden.

Aus einem Vergleich der Tabellen IV und V (Seite 47 und 48) geht hervor, dass die Standardabweichungen vom Mittelwert und die absolute Streuung vom Sollwert der Atlasgeräte mit Hohl-muffen größer ist als mit Flachmuffen. Eine Erklärung wäre erstens, dass der Effekt von Hörern mit Hohl-muffen, wie sie am Audiometer Atlas EM 40 verwendet werden, mehr als bei Hören mit Flachmuffen streut und das deshalb der Hersteller diese

Audiometertype unterschiedlich eicht; zweiten lassen sich diese EM 40 Audiometer durch Versetzen einer Schraube ganz einfach nacheichen. Es wäre denkbar, dass von den Ärzten und Werkstätten schneller eine Nacheichung erfolgte als bei den kleinen Audiometern Atlas EM 42, bei denen zu diesem Zweck gelötet werden muß.

In der Abb. 5 ist die Eichkurve eines neuen Audiometers Atlas EM 40 mit Hohlmuffen eingezeichnet, wie es uns vom Hersteller geliefert wurde. Ein Vergleich der Eichkurve mit den errechneten arithmetischen Mittelwert unterstützt unsere oben aufgestellte Vermutung. Die errechneten Mittelwerte kommen unseren Sollwerten sehr nahe.

Abb. 4 zeigt die Streubreite der Eichungen der Audiometer Atlas EM 42. Unsere Sollwerte gleichen sich erst ab 2000 Hz den errechneten Mittelwerten der Eichkurve an, bis 1500 Hz sind diese Audiometer um mehr als 5 dB zu laut eingeeicht worden.

Für die Beoton Audiometer konnte keine Festeinstellung gewählt werden, da sie keine sogenannte halbautomatische Schreibung besitzen. Aus dem Formular für das Audiogramm geht hervor, dass die Audiometer Beoton nur in den Frequenzbereichen 1000 bis 2000 Hz bis 100 Hörverlust-dB leisten, bei tiefen und hohen Frequenzen weniger. Bei Überschreitung der zulässigen Maximalwerte in den tiefen und höheren Frequenzstufen, ist ein Absinken der Intensität zu verzeichnen.

Die Abb. 6 gibt die Hörverlust-dB-Werte an, mit denen die Überprüfung des Eichstandes der Beotongeräte durchgeführt wurde. In der Tabelle VI (Seite 47) sind die einzelnen frequenzabhängigen Zahlenwerte der am 9A-Kuppler vorgefundenen dB SPL mit der frequenzabhängigen Pegeleinstellung (aus der Tabelle VI und Abb. 6 zu ersehen) für die in West-Berlin erreichbaren Beoton Audiometer wiedergegeben. Die Soll-

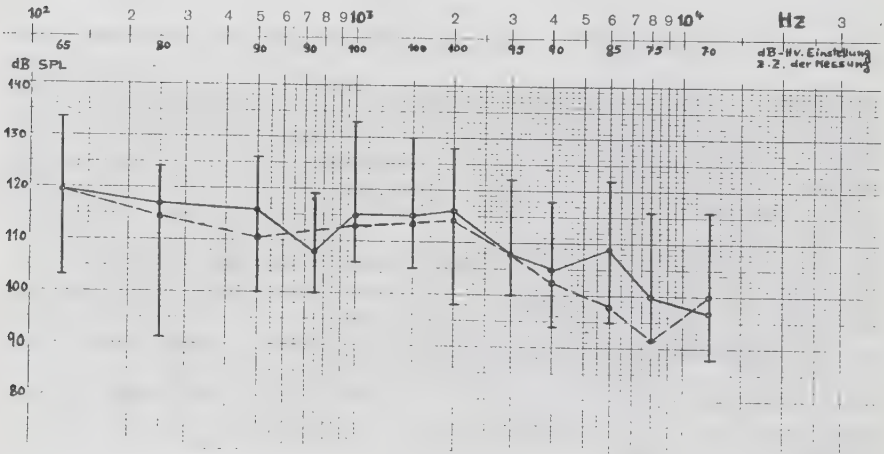


Abb. 6 : Schalldruckpegel am 9A-Kuppler bei verschiedenen Frequenzen mit errechneten, arithmetischen Mittelwert von 16 Beoton Audiometern mit Hörer Holmberg Sk 1250. Die Eicheinstellung ist frequenzabhängig in der unteren Zeile eingetragen.

- arithmetischer Mittelwert
- - - Sollwert für Hörer Holmberg Sk 1250 nach ISO R 389 (Tabelle III; Seite 46)

werte und die errechneten arithmetischen Mittelwerte wurden in der Tabelle VI (Seite 49) eingetragen. Die absolute Streuung vom Sollwert und die Standardabweichung vom Mittelwert wurden frequenzabhängig errechnet und können aus der Tabelle VI entnommen werden. Um den Hörer Holmberg Sk 1250 über den Kuppler messen zu können, haben wir einen Spezialadapter aus Messing entwickelt. Das Luftvolumen beträgt wie bei dem Originalkuppler 6 cm^3 . Vom Holmberg-Hörer wird der Hörerdeckel mit der daran befestigten Gummimuffe abgeschraubt. Die Kunststoffkapsel wird mit der darin enthaltenen Förekapsel auf den Adapter mit einem Gewicht von etwa 1 kg gedrückt. Eine fehlerfreie Übertragung erscheint uns dadurch gewährleistet.

Die Streubreiten der Eichung an 16 Beeton-Audiometern mit Hörer Holmberg Sk 1250 und den errechneten arithmetischen Mittelwert gibt die Abb. 6 wieder. Gestrichelt sind die von uns bestimmten Sollwerte eingezeichnet, die der Tabelle III (Seite 46) entnommen wurden. Die Streubreiten der Eichung sind bei diesem Audiometertyp in allen Frequenzen groß. Die Schwankungsbreite liegt zwischen 20 dB bei 750 Hz und 35 dB bei 250 Hz. Die errechneten Mittelwerte weichen nicht erheblich von unseren errechneten Sollwerten ab.

In der Tabelle VI (Seite 49) sind die einzelnen frequenzabhängigen Zahlenwerte der am 9A-Kuppler vorgefundenen dB SPL

bei frequenzabhängiger Pegeleinstellung für die in West-Berlin erreichbaren Beoton-Audiometer wiedergegeben. Die arithmetischen Mittelwerte und Sollwerte sind ebenfalls eingetragen. Die absolute Streuung vom Sollwert und die Standardabweichung vom Mittelwert wurden frequenzabhängig errechnet und können aus der Tabelle VI entnommen werden.

6. Bestimmung der Sollwerte der Klemmenspannung von

=====

== Audiometern

Den Sollwerten der Klemmenspannung liegen unsere, in Tabelle II und III auf Seite 45 und 46 errechneten Sollwerte akustische Messungen der Audiometer mit Kopfhörer Beyer DT 48 und Holmberg Sk 1250 zugrunde. Das Übertragungsmaß für die entsprechenden Hörer am Kuppler muss von den Sollwerten der Kopfhörer (DT 48 und Sk 1250) subtrahiert werden, um den Sollwert der Klemmenspannung zu erhalten.

Das Übertragungsmaß des Hörers Sk 1250 am Kuppler wurde von uns an 6 neuen Holmberg Sk 1250 Kapseln frequenzabhängig bestimmt. Es wurde die Spannung in mV gemessen, die notwendig ist, um am Hörer über den Kuppler 100 dB SPL zu erzeugen. Die Tabelle X auf Seite 53 gibt die für die einzelnen Frequenzen gemessenen Spannungen mit den errechneten arithmetischen Mittelwerten wieder. Diese Werte wurden für unser Druckkammermikrophon 4132 Nr. 100883 korrigiert.

Übertragungsmaß $b = 20 \lg \ddot{u}$ (dB)

$$\text{wobei} \quad \ddot{u} = \frac{P_K}{U_H} \left(\frac{\mu\text{bar}}{\text{Volt}} \right) = \frac{P_K \text{ Schalldruckpegel am Kuppler}}{U_H \text{ Klemmenspannung am Hörer}}$$

Eingestellt wurde stets auf einen Schalldruckpegel :

$$100 \text{ dB SPL} = 20 \mu\text{bar}$$

$\ddot{u}$ ist für die Meßfrequenzen bestimmbar:

Z.B. für einen speziellen Hörer (Holmberg Sk 1250) bei einer Frequenz $f = 250$ Hz und einer Spannung $U = 154$ mV

$$\text{folglich ist : } \ddot{u}_{250 \text{ Hz}} = \frac{20 \text{ } \mu\text{bar}}{154 \text{ mV}} = \frac{20 \text{ } \mu\text{bar}}{0,154 \text{ V}} = 130 \frac{\text{ } \mu\text{bar}}{\text{V}}$$

daraus ergibt sich für das Übertragungsmaß:

$$b = 20 \lg \ddot{u} = + 42,3 \text{ dB}$$

Für die Frequenzen 125 bis 12000 Hz sind die Zahlenwerte der Tabelle X auf der Seite 53 zu entnehmen.

Die von uns bestimmten Werte des Übertragungsmaßes am Kupp-ler für den Hörertyp Holmberg Sk 1250 sind in der Tabelle X (Seite 53) eingetragen. Für den Hörer Beyer DT 48 wurden die von MRASS und BOCKER (45) bestimmten Werte für das Übertragungsmaß am Kuppler übernommen. Diese Werte sind aus der Tabelle XI Zeile 1 (Seite 54) zu entnehmen.

Der Spannungspegel, in unserem Fall der Sollwert der Klem-men-spannung, soll für die beiden Audiometertypen Beoton und Atlas errechnet werden. Die Beoton Audiometer werden im Handel üblicherweise mit Hörer Holmberg Sk 1250, die Atlas Audiometer mit Hörer Beyer DT 48 geliefert.

Der Rechengang ist wie folgt:

$$U_H = \underbrace{\frac{U_K}{P_K}}_{\frac{1}{\ddot{u}}} \cdot P_K \quad (1)$$

im Pegelmaß müssen wir Bezugswerte einführen, wir schreiben also Gleichung (1) erweitert:

$$\frac{U_H}{U_0} = \underbrace{\frac{U_H}{U_0} \cdot \frac{p_1}{p_K}}_{\frac{1}{\bar{u}}} \cdot \frac{p_K}{p_0} \cdot \frac{p_0}{p_1}$$

$$20 \lg \frac{U_H}{U_0} \text{ (dB)} = -20 \lg \bar{u} + 20 \lg \frac{p_K}{p_0} + 20 \lg \frac{p_0}{p_1}$$

Spannungspegel (re 1V)	Übertragungs- maß des Hö- rers am Kupp- ler	Schallpegel am Kuppler (re $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$)	Korrekturfaktor für Bezugsschall- pegel = - 74 dB
	(re $\frac{1 \mu\text{bar}}{V}$)		

Bezugswerte :

U_H Spannung am Hörer in Volt

U_0 Bezugsspannung 1 Volt

p_K Schalldruck am Kuppler (μbar)

$p_0 = 2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$

$p_1 = 1 \mu\text{bar}$

Die Werte des Schallpegels entsprechen unseren Sollwerten für die verschiedenen Hörertypen aus den Tabellen II (Zeile 5 und 7, Seite 45) und III (Zeile 8, Seite 46).

Die Tabellen XI und XII geben die Sollwerte der Spannungspegel der Audiometer an, die Hörer Beyer DT 48 (mit Hohl- und Flachmuffen) sowie Holmberg Sk 1250 verwenden.

7. Eichstand der Audiometer durch Messung der Klemmen-
spannung, parallel zum Kopfhörer

An 11 Atlas EM 40, 11 Atlas EM 42 und 16 Beoton Audiometern wurde der Eichpegel durch Messung der Klemmenspannung direkt am Audiometer, parallel zum Kopfhörer, überprüft.

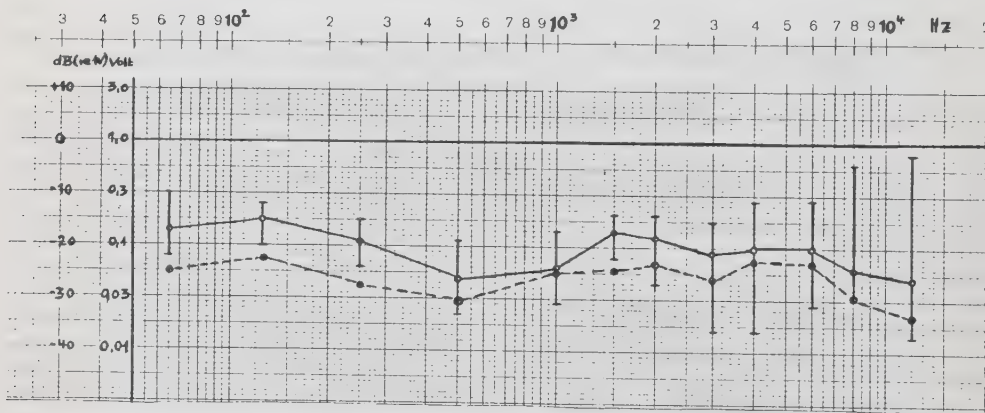


Abb. 7 : Klemmenspannungspegel (bezogen auf 1 Volt) bei den verschiedenen Frequenzen an 11 Atlas EM 42 Audiometern (das Gerät wird mit Hörer DT 48 mit Flachmuffen benutzt); bei der Einstellung des Pegelreglers 1024 Hz auf 100 dB Hörverlust.

- arithmetischer Mittelwert
- - -•- Sollwert der Klemmenspannung in Volt und dB (re 1V) für Atlas EM 42 (mit Hörer DT 48 mit Flachmuffen)

Bei den Atlas Geräten wurde die Frequenzschiene auf 1024 Hz und der Hörverlustschieber auf 100 dB eingestellt. Zur Messung wurde nur der Frequenzschieber verstellt. Die Abb. 7 und 8 geben die Streubreiten der Eichpegel bei Messung der Klemmenspannung für Atlas Audiometer wieder. Die Klemmenspannung der Beoton Geräte sind in der Abb. 9 auf der Ordinate aufgetragen, auf der Abzisse die Frequenzen

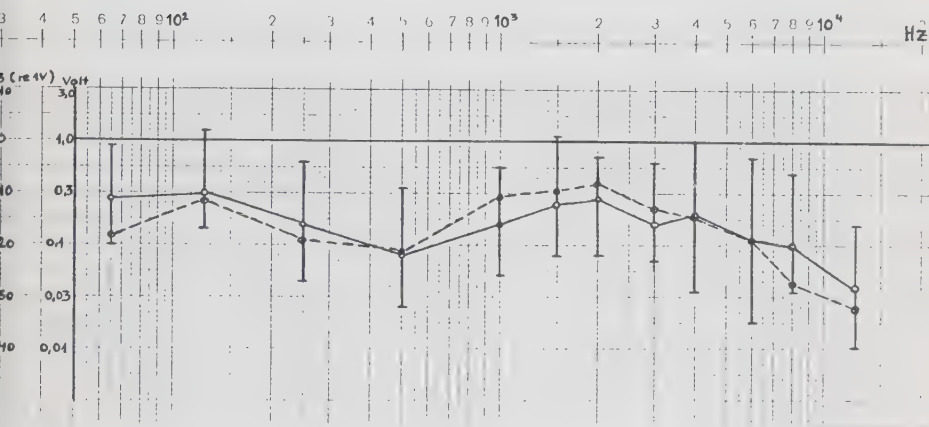


Abb. 8 : Klemmenspannungspegel (bezogen auf 1V) bei den verschiedenen Frequenzen an 11 Atlas EM 40 Audiometern (das Gerät wird mit Hörer DT 48 mit Hohlmuffen benutzt), bei der Einstellung des Pegelreglers 1024 Hz auf 100 dB Hörverlust.

- arithmetischer Mittelwert
- - -●- Sollwert der Klemmenspannung für Atlas EM 40 (mit Hörer DT 48 mit Hohlmuffen)

und in einer zweiten Skala die Intensität, bei der die Messung durchgeführt wurde. Ferner wurden in den Abbildungen 7, 8 und 9 die Sollwerte für die Klemmenspannung eingetragen.

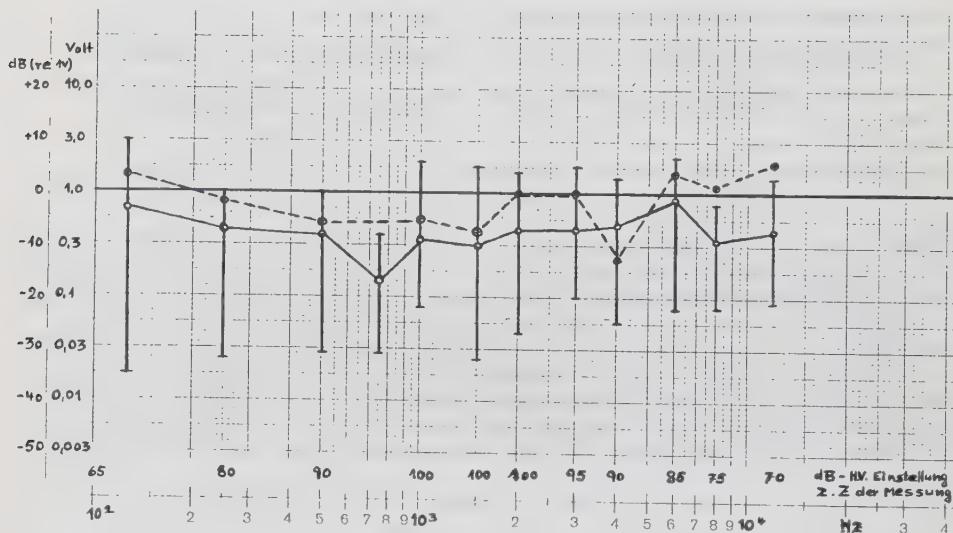


Abb. 9 : Klemmenspannung (bezogen auf 1V) bei den verschiedenen Frequenzen an 16 Beoton Audiometern (das Gerät wird mit Hörer Holmberg Sk 1250 benutzt). Die Eicheinstellung ist frequenzabhängig in der unteren Zeile eingetragen.

- arithmetischer Mittelwert
- Sollwert der Klemmenspannung in Volt und dB (re 1V) für Beoton Audiometer (mit Hörer Holmberg Sk 1250 in Benutzung)

Bei einem Vergleich der Sollwerte für Hörer, gemessen über den Kuppler, zu den arithmetischen Mittelwerten der Pegelstände der Audiometer und den Sollwerten der Klemmenspannung zu den arithmetischen Mittelwerten der Pegelstände der Klemmenspannung zeigt sich, dass bei Atlas Geräten maximale Differenzen zwischen diesen beiden Messungen von 8 dB, bei Beoton Audiometern maximale Differenzen von 20 dB auftreten.

Eine Eichung allein durch Einstellung der Sollwerte der Klemmenspannung ist daher sowohl für Atlas wie Beoton Audiometern abzulehnen.

8. Übersicht über die Ursachen, die zu einer Verfälschung
=====

der Audiogramme führen können
=====

a) Falsch geeichte Audiometer

Außer dem falsch eingeeichten Audiometer kann eine große Zahl anderer Fehlerquellen eine scheinbare Änderung der Hörschwellen vortäuschen.

b) Frequenzabweichungen im Audiometer

Frequenzabweichungen in dem Bereich unter 2000 Hz, sowie über 5000 Hz führen zu größeren Lautheitsänderungen. Eine Abweichung um 10 % bei z.B. 250 Hz verursacht eine Ungenauigkeit von etwa 3 - 5 dB. DIN fordert deshalb eine Frequenzgenauigkeit von ± 5 % (5).

c) Spannungsschwankungen

In der Nähe einer großen Versuchsanstalt habe ich bei den Audiometereichungen statt der üblichen 220 Volt Netzspannung nur 190 Volt gemessen; ein Spannungsabfall von 14 %. Nachprüfungen ergaben, dass Spannungsschwankungen im Netz nur geringe Lautstärkeänderungen verursachen. Die Differenz beträgt bei einem Spannungsabfall von 230 Volt auf 190 Volt unabhängig von der Frequenz für die Atlas EM 40 Audiometer 3 - 3,5 dB, für Atlas EM 42 2,5 dB und für Beoton 1 - 1,5 dB. Diese Abweichungen liegen alle etwa in der zulässigen Fehlerbreite von ± 3 dB (27).

d) Unzulässige Fehler in der Intensitätsstufung

Die Intensitätsstufungen betragen nach der DIN 5 dB.

Zulässige Abweichungen von ± 1 dB pro Stufe oder $\pm 2,5$ dB über zwei Stufen sind von der Norm gestattet.

Unter den 40 überprüften Audiometern befand sich keines, welches nicht die geforderte Genauigkeit leistete. Die Stufung abwärts bis 30 dB gemessen werden.

e) Netzbrumm und Geräusche

Netzbrumm und Geräusche sollen unter der Normalhörschwelle liegen. Geräte und Kopfhörer, die alle älter als 5 Jahre waren, erfüllten nicht die in der DIN aufgestellten Forderungen.

f) Ungenügende Untersuchungstechnik

Eine weitere Fehlerquelle liegt in der Technik des Audiometrierens. Nach eigener Umfrage ergab sich, dass zu 50 % Hörschwellenbestimmungen von Hilfspersonal und 50 % von Ärzten durchgeführt werden. Selten wird bei praktizierenden Ärzten mehr als ein Audiogramm am Tag geschrieben. Zur optimalen Beherrschung des Gerätes dürfte dies nicht ausreichend sein.

g) Schlechter Hörsitz

Gehörgang und Ohrmuschel sind bei jedem Menschen etwas anders ausgebildet. Daraus ergibt sich, dass das Übertragungsmaß für Kopfhörer am Ohr individuell verschieden ist (45).

Besonders deutlich werden die Unterschiede bei undichtem Hörsitz (41). MRASS und BOCKER fanden bei Beyerhörern mit Flachmuffen maximale Abweichungen von 10 dB. Ab 8000 Hz steigen die Fehler durch schlechte Zentrierung der Hörerachse bis 20 dB an, deshalb sollte darauf geachtet werden, dass beim Aufsetzen des Hörers die Schallaustrittsöffnung genau in den Gehörgang zentriert wird. Es ist auch wichtig, dass die Andruckkraft des Kopfhörerbügels ausreichend ist, um die Kissen fest genug an das Ohr zu drücken, damit ein dichter Hörsitz gewährleistet wird.

f) Klirrfaktor

Der Oberwellengehalt wurde mit einem Terzfilteranalysator der Firma Bruel & Kjaer Typ 2107 B an 11 Audiometern und 26 Kopfhörern bestimmt. Die DIN 45620 schreibt vor:

"Der Schallpegel jeder Harmonischen ist bei jeder Frequenz und jeder Intensitätseinstellung bis zu den Werten entsprechend der Tabelle 2 (DIN 45620) mindestens 25 dB geringer als der Schalldruckpegel der Grundfrequenz."

Der Klirrfaktor wurde in allen Frequenzeinstellungen an 12 Hörern und 4 Audiometern, in den Frequenzbereichen 125 Hz

bis 4000 Hz an 8 Hörern und Audiometern bestimmt. Bei allen Hörern DT 48 und Sk 1250 war der Abstand der Schalldruckpegel der Grundfrequenz zur 1. und 2. Harmonischen normgerecht, d.h. er betrug mehr als 25 dB. Geprüft wurde der Hörer allerdings nur bei 80 dB SPL. Der Abstand der Kupplerschallpegel zur ersten und zweiten Harmonischen wurde für 3 Atlas Audiometer in allen Frequenzen bei 100 dB SPL, bis 4000 Hz wurden 5 Atlas bei 80 dB SPL und 3 Beoton Audiometer frequenzabhängig wie die Eichung (siehe Seite 46) gemessen.

Die Tabellen VII und VIII geben die Abstände der Schalldruckpegel der Grundfrequenz zur 1. Harmonischen für Atlas Audiometer frequenzabhängig wieder. Der Abstand zur 2. Harmonischen entsprach bei allen Atlas Geräten der Norm, er betrug 40 dB und mehr. Die Werte sind deshalb nicht einzeln in den Tabellen VII und VIII (Seite 50 und 51) aufgeführt worden.

Tabelle IX (Seite 52) gibt den Abstand der Schalldruckpegel der Grundfrequenz zur 1. und 2. Harmonischen für Beoton-Audiometer frequenzabhängig wieder. Der Abstand zur 1. Harmonischen lag bei den Beoton-Geräten im Bereich der Norm, zur 2. Harmonischen lag er nur bei einem Audiometer geringer als die von der Norm geforderten 25 dB.

Bei einem Vergleich der Tabellen VII und VIII mit IX (Seite 50,51,52) wird deutlich, dass die geprüften Atlas-Audiometer wesentlich häufiger, d.h. zu 50 % nicht über den von der DIN zugelassenen 25 dB Differenz zwischen dem

Schallpegel der Grundfrequenz und der 1. und 2. Harmonischen aufweisen, als die Beeton-Audiometer. Nur ein Beeton-Gerät wies den geforderten Abstand von 25 dB vom Schalldruckpegel der Grundfrequenz zur 1. und 2. Harmonischen in allen geprüften Frequenzen (125 - 4000 Hz) nicht auf.

i) Übermüdung - Medikamente

Häufiges und schnelles Audiometrieren sowie Übermüdung führen nach DIEROFF (24) zum Konzentrationsverlust und einer scheinbaren Herabsetzung der Hörschwelle um 5 - 10 dB. Körperliche Anstrengungen (39,61) und bestimmte Medikamente haben die gleiche Wirkung.

9. Unter welchem Lärmpegel werden Hörprüfungen in der
=====

Praxis durchgeführt
=====

In der vorliegenden Arbeit konnten Ergebnisse an 40 in
West-Berlin stehenden Audiometern gesammelt werden.

Fast ausschließlich sind es Krankenhäuser, bei denen die
Hörprüfungen in extra dafür abgedichteten, schallarmen
Räumen durchgeführt werden. Der Kostenaufwand für die
Camera silenta ist der Grund für das Fehlen einer solchen
Einrichtung bei fast allen frei praktizierenden Ärzten.

Der Störlärmeinfall wurde in 15 Praxisräumen, in denen
Hörprüfungen durchgeführt werden, gemessen. Die Abb. 10
gibt frequenzabhängig die am Audiometer gefundenen Werte
für diese Störungen ohne Berücksichtigung der Hörabschir-
mung wieder.

Nach H. MULDER (48) ist ein Störpegel um 40 dB bis 1200 Hz
für Hörschwellenmessungen zulässig. Ab 1200 Hz bis 5000 Hz
steigt der zulässige Lärmpegel bis auf 60 dB (48). Wichtig
wäre dabei für diese Aufgabe, was für ein Kissen auf den
Kopfhörer benutzt wurde und welcher Abdichtungsgrad damit
am Ohr erreicht werden konnte.

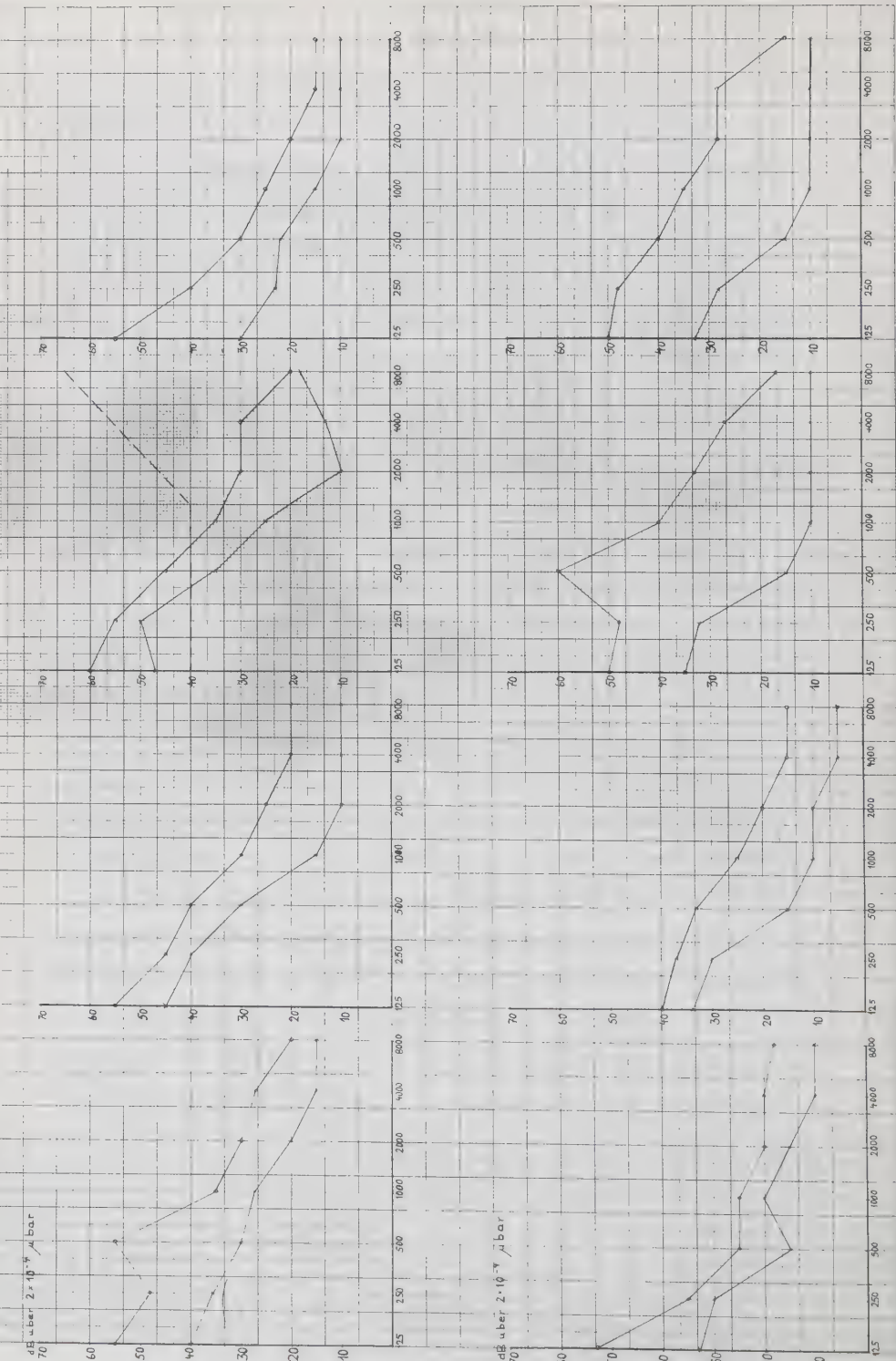
Nach meiner persönlichen Erfahrung durch Bestimmung der Hörschwelle, darf der Lärmpegel bei gut abgedichteten Hohl muffen für Hörschwellenmessungen bis 1500 Hz bei 35 dB SPL, für Flachmuffen bei 30 dB liegen. Ab 2000 Hz machten sich bei meinen subjektiven Prüfungen Schalleinflüsse, sofern es keine kurzfristigen Lärmspitzen waren, für Hörschwellenbestimmungen nicht mehr bemerkbar. Sie verlangten aber eine größere Aufmerksamkeit.

Aus der Abb. 10 geht hervor, dass zu einem großen Teil Hörschwellenbestimmungen in Räumen durchgeführt werden, die wegen des hohen Lärmpegels dafür nicht geeignet sind. Die ASA (4) fordert für Räume mit einem Lärmpegel über 40 dB SPL in den Frequenzbereichen bis 300 Hz eine besondere Camera silenta bzw. empfiehlt behelfsmäßig das Anbringen von schallabsorbierendem Material an den Wänden.

Sollte die Möglichkeit nicht gegeben sein, einen schallarmen Raum zu schaffen, können Kopfhörer mit Lärmschutzkapseln (41) keine idealen, doch verbesserte Bedingungen schaffen. Diese Spezialhörer (41) sollen einen Lärmpegel von 50 bis 60 dB abhalten. Hörschwellenbestimmungen an normalhörenden Personen sollten nach Angabe der Autoren gleich gute Ergebnisse wie eine Camera silenta gezeigt haben. Abb. 10 gibt nur Mittelwerte des Störeinfalls an. Die Spitzen liegen meistens 15 dB höher. Diese Werte können auch weiterhin trotz Spezialkopfhörer eine Herabsetzung der Hörschwelle vortäuschen.

Abb. 10

1% Oktav - Schallpegel von Räumen, in denen Hörprüfungen durchgeführt werden (Mittelwerte, keine Spitzen)



10. Verbesserungsforderungen

=====

Die vorliegenden Ergebnisse bringen deutlich zum Ausdruck, wie groß die Streubreite der Eichpegel bei den Reintonaudiometern ist. Bei den meisten Geräten befindet sich der Eichpegel ausserhalb der erlaubten Toleranzen. Es gibt Audiometer, die acht Jahre und länger im Betrieb sind, ohne daß jemals der Eichstand überprüft wurde oder das Gerät auf seine Funktionsfähigkeit kontrolliert wurde.

Die Richtigkeit der Forderung von DAVIS und KRANZ sowie HAHNBROCK (18,35), die eine regelmäßige Überprüfung der Audiometer und Kopfhörer in einem Zeitabstand von 2 Jahren für unbedingt nötig halten, wird durch unsere Messungen bewiesen.

Eine zentrale Durchführung würde eine einheitliche Eichung garantieren. Durch eine Verplombung der Audiometer könnte später eine Verstellung verhindert werden.

Eichungsänderungen durch Beschädigungen der Hörer im Betrieb werden sich aber auch damit nicht ausschließen lassen.

Da es eine Deutsche Norm über die zulässigen Geräusche bei Hörschwellenmessungen nicht gibt, sollte als Anhaltspunkt die für Amerika geltenden Bestimmungen herangezogen werden. Ein Oktavgeräuschpegel von 40 dB SPL bis 1200 Hz in den Audiometrierräumen ist zulässig. Von 1200 Hz bis 9000 Hz steigt der zulässige Lärmpegel von 40 auf 70 dB an.

11. Zusammenfassung

=====

Es wurde eine Überprüfung aller in West-Berlin erreichbaren Audiometer durchgeführt.

Im einzelnen wurden gemessen:

- a) Der Eichstand über das künstliche Ohr
- b) der Eichstand durch Messung der Klemmenspannung
- c) die Intensitätsstufen am Audiometer
- d) der Abstand der Schalldruckpegel der Grundfrequenz zur 1. und 2. Harmonischen über den Kuppler und direkt am Audiometer
- e) die Schallpegel in Oktavbändern im Aufstellungsraum
- f) außerdem wurde subjektiv auf Netzbrumm, Schaltknacken oder andere Geräusche geachtet.

Meßwerte von verschiedenen Kopfhörern am Kuppler lassen sich nicht miteinander vergleichen. Daher mussten vor der Überprüfung der Audiometer subjektive Vergleichsmessungen zwischen dem Beyer DT 48 Hörer mit Flachmuffen und mit Hohl-muffen sowie dem Holmberghörer Sk 1250 angestellt werden. Für die Hörertypen TDH 39, WE 705 A, STC 4026 A wurden die Kupplerschwellenschalldrucke für die internationale Normalhörschwelle berechnet. Durch die subjektiv gewonnenen Vergleichswerte lassen sich an Hand der international festgelegten Hörschwelle die Sollwerte für die verschiedenen

Audiometertypen bestimmen. Für Audiometer mit Hörer Beyer DT 48 mit Flachmuffen und Hohlmuffen sowie Holmberg Sk 1250 sind in der Arbeit je eine Tabelle mit den Sollwerten für das von uns vorgeschlagene Meßverfahren enthalten.

40 in West-Berlin erreichbare Audiometer wurden auf die oben aufgeführten 7 Punkte überprüft.

Die größten Streubreiten zwischen Maximal- und Minimalwerten des Eichstandes der Beoton- und Atlas EM 40 Audiometer lagen bei 25 dB, beim Atlas EM 42 um 15 dB.

Der Abstand der Oberwellen zum Schalldruckpegel der Grundfrequenz entsprach bei Atlas-Audiometern zu 50 %, bei den Beotongeräten zu 85 % der DIN 45620.

In 16 Audiometrierräumen wurde der Lärmpegel bestimmt. Nach der ASA-Forderung (4) lag dieser in 9 Räumen über der gewünschten Norm. Dadurch trat ein scheinbarer Hörverlust bis 20 dB bei Frequenzen bis 1000 Hz auf.

Es sollte zur Pflicht gemacht werden, jedes Audiometer mit Kopfhörern alle 2 Jahre einer Kontrolle zu unterziehen.

T a b e l l e I

Normalhörschwelle =====

Kupplerschwellenschalldruck dB über $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$

Norm	DIN	ISO (genormt)	ISO	ISO	ISO (genormt)	ISO (genormt)
Frequz.	Beyer DT 48	Beyer DT 48	Telefonics TDH 39	Telefonics TDH 39	WE 705 A	STC 4026 A
125	43,0	47,5	53,0	45,0	45,5	51,5
250	21,0	28,5	29,5	26,5	24,5	31,0
500	10,0	14,5	15,0	12,5	11,0	14,0
1000	5,0	8,0	10,0	8,5	6,5	7,0
1500	5,0	7,5	9,0	7,0	6,5	6,5
2000	6,0	8,0	9,5	6,5	8,5	7,5
3000	4,0	6,0	12,0	6,5	7,5	8,5
4000	5,0	5,5	10,5	10,0	9,0	10,5
6000	11,0	8,0	23,0	9,5	8,0	14,5
8000	14,0	14,5	15,5	12,5	9,5	19,5
				nach (59)	nach (26)	

T a b e l l e II

Eichpegel für Atlas Audiometer mit Hörer DT 48

Frequenz	64	128	256	512	1024	1448	2048	2896	4096	5792	8192	11584 Hz
1. Kupplerschalldruck- pegel nach ISO R 389	(67)	47,5	28,5	14,5	8,0	7,5	8,0	6,0	5,5	8,0	14,5	(29,0)dB
2. Korrektur für unser Bruel & Kjaer Druck- kammernmikrophon 4132-Nr. 100883	±0	±0	±0	±0	±0	±0	±0	±0	±0	±0	-2	-4 dB
3. Kuppler-Schalldruck- pegel bei Einstellung 100 dB Hörverlust (theoretischer Soll- wert für Beyerhörer DT 48 mit Flachmuffen)	(167)	147,5	128,5	114,5	108,0	107,5	108,0	106,0	105,5	108,0	112,5	(125,0)dB
4. Differenzpegel (dB- absolut-dB Hörverlust bei fester Audiometer- einstellung (Atlas)	+55,0	+33,0	+20,0	+10,0	±0	±0	-1,0	-1,0	+1,0	+7,0	+15,0	(+25,0)dB
5. Kuppler-Schalldruck- pegel bei Einstellung 100 dB SPL (absolut) Sollwert f. Beyerhörer DT 48 mit Flachmuffen	(112,0)	114,5	108,5	104,5	108,0	107,5	109,0	107,0	104,5	101,0	97,5	(100,0)dB
6. Pegeldifferenz E2 (Hohl- muffe)-E1 (Flachmuffe)	+7,0	+8,0	+8,0	+9,0	+14,0	+15,0	+15,0	+13,0	+8,0	+4,0	+2,0	(+1,0)dB
7. Kuppler-Schalldruckpe- gel bei Einstellung 100 dB SPL (absolut) (Soll- wert f. Beyer DT 48 mit Hohl-muffen)	(119,0)	122,5	116,5	113,5	122,0	122,5	124,0	120,0	112,5	105,0	99,5	(101,0)dB

Tabelle III

Eichpegel für Beoton Audiometer mit Hörer Holmberg SK 1250 (s. Text S. 15)

Frequenz	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	12000	Hz
1. Differenz der Schwellen- spannungspegel zweier Hörer (DT 48 mit Flach- muffen und SK 1250- Abb. 2 S. 10) ($a_1 - a_2$)	+19	+17	+18	+16	+16	+17	+19	+18	+20	+23	+25	dB
2. Differenz des Übertragungs- maßes der beiden Hörer am Kuppler (SK 1250 - DT 48) eigene Messung. ($b_1 - b_2$)	-11	-11	-12	-11	-10	-12	-13	-10	-13	-19	-20	dB
3. Summe 1. + 2. ($a_1 - a_2$) + ($b_1 - b_2$) = $KW_1 - KW_2$	+ 8	+ 6	+ 6	+ 5	+ 6	+ 5	+ 6	+ 8	+ 7	+ 4	+ 5	dB
4. Kuppler Schalldruckpegel bei Einstellung 100 dB SPL (absolut) (Sollwert für Beyer Hörer mit Flachmuffen)	114,5	108,5	104,5	108,0	107,5	109,0	107,0	104,5	101,0	97,5	100,0	dB
5. Feste Einstellung 100 dB entspricht dB H.v.	68	80	90	100	100	100	100	100	95	85	75	dB
6. Beoton Audiometer mit Holm- berg SK 1250 wurde geeicht bei Hörverlust-Einstellung	65	80	90	100	100	100	95	90	85	75	70	dB
7. Differenz 6. - 5.	-3	+0	+0	+0	+0	+0	-5	-10	-10	-10	-5	dB
8. Kuppler Schalldruckpegel bei dB-Einstellung Zeile 6 (Sollwert für Holmberg SK 1250 Hörer) 3. + 4. - 7.	119,5	114,5	110,5	113,0	113,5	114,0	108,0	102,5	98,0	91,5	100,0	dB

T a b e l l e IV

Kuppler Schalldruckpegel von 11 in West Berlin stehenden Audiometer Atlas EM 42 (mit Hörer Beyer DT 48 mit Flachmuffen im Gebrauch), bei Einstellung 100 dB Hörverlust für alle Frequenzen.

Frequenz	64	128	256	512	1024	1448	2048	2896	4090	5792	8192	11584	Hz
117	119	115	107	115	115	116	110	113	111	107	94	103	dB
117	118	114	107	107	113	113	108	111	107	106	94	98	dB
115	119	117	116	116	117	117	114	116	110	106	100	96	dB
115	119	117	115	115	119	119	113	114	109	104	100	98	dB
117	119	115	107	107	107	115	116	113	103	99	97	100	dB
117	120	116	108	110	110	116	111	111	102	99	98	96	dB
119	121	117	107	108	110	116	117	111	102	97	99	95	dB
119	121	117	110	110	110	116	117	111	103	99	100	99	dB
120	122	118	115	122	121	121	114	112	108	105	97	99	dB
123	123	119	114	120	121	121	111	112	108	103	96	97	dB
113	115	111	104	105	111	111	112	101	97	99	100	91	dB
112	114	111	104	108	111	111	102	102	96	98	97	86	dB
115	113	111	107	105	107	107	100	107	103	96	93	96	dB
123	120	117	114	116	114	114	107	113	109	104	117	100	dB
115	117	113	104	104	112	108	107	107	100	91	103	94	dB
114	116	112	104	105	111	111	111	107	98	90	101	93	dB
121	118	114	111	114	117	117	110	110	107	102	105	103	dB
118	121	117	110	116	118	118	107	116	104	103	107	102	dB
121	122	118	110	112	116	116	112	107	103	97	105	95	dB
Mittelwerte	117,3	118,8	115,2	109,2	112,0	115,0	110,4	110,2	104,2	100,3	100,2	97,0	dB

Sollwerte nach

Tab. II, Zeile 5	112,0	114,5	108,5	104,5	108,0	107,5	109,0	107,0	104,5	101,0	97,0	100,0	dB
Streuung absolut	+11	+8,0	+10,5	+12,5	+14,0	+14,5	+8,0	+9,0	+6,5	+6,0	+20,0	+3,0	dB
vom Sollwert	+1	-1,5	+2,5	-0,5	-4,0	-0,5	-7,0	-6,0	-8,5	-11,0	-3,0	-14,0	dB
Standardabweichung	+3,22	+2,79	+2,61	+4,04	+5,59	+3,61	+4,19	+4,11	+4,49	+4,87	+5,6	+4,17	dB
S vom Mittelwert													

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

X_1 = Einzelwert in dB $\bar{X}_m$ = Mittelwert in dB n = Anzahl der Werte

T a b e l l e V

Kuppler Schalldruckpegel von 11 in West Berlin stehenden Audiometer Atlas EM 40 (mit Hörer Beyer DT 48 mit Hohlmuttern im Gebrauch), bei Einstellung 100 dB Hörverlust für alle Frequenzen.

Frequenz	64	128	256	512	1024	1448	2048	2896	4090	5792	8192	11584
126	128	119	115	121	118	115	113	114	101	95	95	95
127	128	120	115	121	119	115	108	113	100	95	95	95
123	121	116	113	122	118	112	118	114	102	95	102	95
131	127	122	119	124	120	116	120	114	102	103	97	95
106	109	108	115	120	121	122	122	117	112	109	98	95
124	126	118	108	121	122	127	119	116	111	103	100	95
122	120	111	113	120	124	124	112	112	104	101	91	95
118	119	109	111	119	118	123	113	112	104	100	90	95
123	126	115	114	122	125	123	113	110	106	104	97	95
125	127	117	116	122	126	122	117	110	108	106	95	95
132	133	128	123	128	130	125	123	117	113	109	99	95
125	127	127	127	126	127	124	122	117	109	101	101	95
119	120	116	113	121	117	108	109	110	97	94	96	95
119	121	117	114	123	118	109	110	111	98	96	98	95
130	132	132	117	126	133	130	116	114	114	114	99	95
127	129	126	120	127	131	125	125	123	119	116	101	95
130	133	120	114	115	116	118	111	111	103	108	90	95
123	119	115	110	116	112	122	111	112	96	107	93	95
127	129	115	107	117	120	111	118	100	101	107	97	95
127	128	118	106	122	120	116	113	99	98	106	96	95
134	136	117	103	106	111	111	115	106	86	98	81	95
134	136	126	106	111	124	120	109	95	85	116	89	95
Mittelwert	125,1	126,1	118,7	113,6	120,5	121,4	119,0	115,1	111,0	103,0	103,7	95,3dB

Sollwert nach
Tab. II, Zeile 7

119,0	122,5	116,5	113,5	122,0	122,5	124,0	120,0	112,5	105,0	99,5	101,0dB
Streuung absolut +15	+13,5	+15,5	+13,5	+5,0	+10,5	+6,0	+5,0	+10,5	+14,0	+16,5	+1,0
Streuung vom Sollwert -13	-13,5	-8,5	-10,5	-16,0	-11,5	-16,0	-12,0	-17,5	-20,0	-5,5	-2,0

Standardabweichung s

6,55	6,58	6,08	5,8	5,2	5,72	6,29	4,99	6,29	8,22	6,8	4,95dB
------	------	------	-----	-----	------	------	------	------	------	-----	--------

s vom Mittelwert $s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$

Kupplerschalldruckpegel von 16 in West Berlin stehenden Audiometer Beoton (mit Hörer Holmberg Sk 1250 im Gebrauch)

Frequenz	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	12000	Hz
dB-Hörverlustein- stellung z.Z. der Messung	65	80	90	100	100	100	95	90	85	75	70	dB
121	117	112	112	112	112	112	106	102	103	101	88	dB
121	117	113	112	112	112	113	106	103	105	101	90	dB
117	119	119	115	120	120	120	110	100	113	94	103	dB
117	118	118	113	108	120	120	110	102	111	93	107	dB
103	104	103	106	105	98	100	100	98	95	94	89	dB
102	102	102	109	107	102	100	100	94	95	93	88	dB
120	107	122	129	126	123	108	107	107	106	93	97	dB
119	116	122	129	125	121	109	109	106	105	92	94	dB
110	118	120	125	125	118	112	112	112	114	102	88	dB
115	123	125	133	128	123	123	122	118	119	111	88	dB
123	120	115	112	113	113	114	105	104	108	103	93	dB
124	122	116	112	113	113	114	105	103	103	103	92	dB
121	116	111	111	114	107	108	108	106	105	103	95	dB
120	115	114	116	116	115	110	110	105	105	101	95	dB
133	122	116	114	110	111	114	104	96	114	95	99	dB
119	121	120	120	125	125	108	108	103	106	99	98	dB
123	123	123	128	128	128	109	109	116	117	106	116	dB
122	116	115	113	114	116	110	110	106	108	98	95	dB
121	116	115	112	115	117	108	108	107	108	109	93	dB
120	119	116	111	112	112	113	105	102	105	101	92	dB
121	120	117	110	113	113	114	106	104	107	101	92	dB
123	121	115	110	108	111	107	107	103	107	96	96	dB
125	124	121	112	115	121	109	109	104	105	96	97	dB
123	123	119	110	123	121	108	108	107	124	97	92	dB
123	113	113	111	114	120	106	106	105	111	95	101	dB
121	112	113	111	115	122	109	109	107	114	117	116	dB
120	120	116	116	116	115	110	110	105	110	100	94	dB
124	119	116	116	113	113	109	109	102	106	100	95	dB
122	121	126	123	130	124	112	112	112	107	108	96	dB
123	119	125	123	108	108	123	111	110	116	104	100	dB

Fortsetzung von Tabelle VI

Frequenz	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	12000
Mittelwerte	119,4	116,7	116,2	115,1	115,4	116,4	108,2	104,7	109,4	100,1	96,6
Sollwerte	119,5	114,5	110,5	113,0	113,0	114,0	108,0	102,5	98,0	91,5	100,0
Streuung absolut	+14	+9,5	+15,5	+20,0	+17,0	+14,0	+14,0	+16,0	+26,0	+25,0	+16,0
von Sollwert	-17	-17,0	-23,5	-10,5	-7,0	-8,0	-16,0	-8,0	-3,0	+0	-12,0
Standardabweichung S vom Mittelwert	+ 5,2	+ 7,0	+ 5,9	+ 6,7	+ 6,9	+ 6,4	+ 3,95	+ 5,3	+ 6,6	+ 5,8	+ 5,8

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2}{n - 1}$$

x_1 = Einzelwert in dB

x_m = Mittelwert in dB

n = Anzahl der Werte

Table VII

Abstand der Schalldruckpegel der Grundfrequenz zur 1. und 2. Harmonischen bei 6 Atlas Audiometer
EM 42 (gemessen bei 100 dB SPL)

Frequenz	64	128	256	512	1024	1448	2048	2896	4096	5792	8192	11584 Hz
Abstand der Grundfrequenz	1.27	31	26	28	25	26	28	26	25	29	28	36 dB
zur 1.												
zur 2.	2.....	30	30	28	26	26	28	27	25	29	28	35 dB
Harmonischen												
zur 1.	1.24	30	32	32	40	30	45	35	38	29	31	36 dB
zur 2.	2.....	30	32	32	40	30	45	35	38	29	31	36 dB
zur 1.	1.31	25	36	35	42	27	28	52	28	30	37	40 dB
zur 2.	2.....	25	36	35	42	27	28	52	28	30	37	40 dB
zur 1.	1.18	19	21	23	23	23	25	23	24	25	26	32 dB
zur 2.	2.....	19	21	23	23	23	25	23	24	25	26	32 dB
zur 1.	1.23	26	23	23	23	26	29	24	25	27	26	32 dB
zur 2.	2.....	26	23	23	23	26	29	24	25	27	26	32 dB

T a b e l l e VIII

Abstand der Schalldruckpegel der Grundfrequenz zur 1. und 2. Harmonischen.
(Gemessen bei 80 dB SPL an 10 Audiometer Atlas EM 40 und EM 42)

Frequenz	64	128	256	512	1024	2048	2896	4096	Hz
Abstand der Grundfrequenz zur 1. Harmonischen									
1.	30	33	29	29	31	35	28	23	dB
2.	.....	.....	größer als	größer als	45 dB	.....	.....	.....	.....
1.	32	34	28	28	31	35	27	22	dB
2.	.....	.....	größer als	größer als	45 dB	.....	.....	.....	.....
1.	35	35	37	37	39	39	40	23	dB
2.	.....	.....	größer als	größer als	45 dB	.....	.....	.....	.....
1.	35	34	35	35	44	37	42	25	dB
2.	.....	.....	größer als	größer als	45 dB	.....	.....	.....	.....
1.	29	27	25	33	28	40	39	25	dB
2.	.....	.....	größer als	größer als	40 dB	.....	.....	.....	.....
1.	33	38	31	38	30	38	32	26	dB
2.	.....	.....	größer als	größer als	40 dB	.....	.....	.....	.....
1.	31	30	28	27	37	42	38	22	dB
2.	.....	.....	größer als	größer als	40 dB	.....	.....	.....	.....
1.	33	30	40	27	35	41	40	23	dB
2.	.....	.....	größer als	größer als	40 dB	.....	.....	.....	.....
1.	31	33	30	29	28	39	31	20	dB
2.	.....	.....	größer als	größer als	40 dB	.....	.....	.....	.....
1.	31	32	32	27	33	39	33	17	dB
2.	.....	.....	größer als	größer als	40 dB	.....	.....	.....	.....

T a b e l l e IX

Abstand der Schalldruckpegel der Grundfrequenz zur 1. und 2. Harmonischen.
(Gemessen an 6 Beoton Audiometer)

Frequenz	125	250	500	1000	2000	3000	4000	Hz
geprüft bei dB-Hörverlust	65	80	90	100	100	95	90	dB
Abstand der Grundfrequenz zur 1.	1. 34	35	36	35	47	44	35	dB
2. ....	.....	.....	größer als	45 dB	.....	.....	.....	.....
1. 33	34	36	34	34	47	42	31	dB
2. ....	.....	.....	größer als	45 dB	.....	.....	.....	.....
1. 39	36	38	38	34	34	30	39	dB
2. 40	38	39	39	39	17	41	40	dB
1. 38	31	39	40	40	35	31	34	dB
2. 41	39	40	40	40	28	43	43	dB
1. 41	37	33	33	37	46	40	33	dB
2. 41	28	44	44	57	55	53	50	dB
1. 38	36	35	35	37	48	41	32	dB
2. 40	34	46	46	55	54	52	51	dB

Tabelle X

Spannung in mV, die vom Tongenerator be- nötigt wurde, um an 6 Hörerkapseln Holm- berg Sk 1250 über den 9A Kuppler 100 dB zu erzeugen.	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	8000	12000	Hz
	135	135	135	116	97	195	365	158	750	2150	2800	3320	mV
	160	160	152	140	90	200	380	150	1040	1680	4200	3350	mV
	160	160	150	135	95	215	400	185	1050	2300	2300	4050	mV
	170	170	160	140	90	222	420	190	880	2500	2800	3950	mV
	140	140	140	120	80	188	350	220	920	1250	3850	3350	mV
	155	160	165	130	82	200	270	180	840	1500	8000	1700	mV

Mittelwerte	153	154	150	130	89	203	381	180	913	1897	3992	3287	mV
-------------	-----	-----	-----	-----	----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	----

Streuung vom Mittelwert	+17	+16	+15	+10	+ 8	+19	+39	+30	+137	+603	+208	+763	mV
	-18	-19	-15	-14	- 9	-15	-16	-30	-163	-647	-1692	-1587	mV

$$\bar{u} = \frac{P_K}{U_H} \cdot \frac{\text{bar}}{V}$$

$\bar{u}$	130,5	130,0	132,0	154,0	225,0	98,5	52,5	111,0	21,9	10,5	5,01	6,08
-----------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	-------	------	------	------	------

b = 20 lg ü (dB)	42,3	42,3	42,5	43,8	47,0	40,0	34,4	40,9	26,8	20,4	14,0	15,7
------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Tabelle XI

Eichpegel der Klemmenspannung für Atlas EM 40 und EM 42 (mit Hörer Beyer DT 48 im Gebrauch). (Siehe Text Seite 29.).

$$20 \lg \frac{U_H}{U_0} (\text{dB}) = -20 \lg \ddot{u} + 20 \lg \frac{p_K}{p_0} + 20 \lg \frac{p_0}{p_1}$$

Spannungspegel (bei Einstellung 100 dB SPL) (re 1V)	Übertragungs- maß des DT 48 am Kuppler(45) (re $\frac{1}{V} \mu\text{bar}$)	Kupplerschalldruck- pegel für DT 48 (Hohl- muffen). Druckkammer- korrekturfaktor (Tab. II, Z.2) addiert. (re $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$)	Korrekturfaktor für Bezugs- schallpegel -74 dB
---	---	---	---

EM 40

V = dB (re 1V)					Frqz.H
0,13	= -18,0	= -63	+ 119,0	-74	64
0,27	= -11,5	= -63	+125,5	-74	128
0,1	= -19,5	= -62	+116,5	-74	256
0,083	= -21,5	= -61	+113,5	-74	512
0,28	= -11,0	= -59	+122,0	-74	1024
0,34	= - 9,5	= -58	+122,5	-74	1448
0,38	= - 8,0	= -58	+124,0	-74	2048
0,22	= -13,0	= -59	+120,0	-74	2896
0,19	= -14,5	= -53	+112,5	-74	4096
0,11	= -19,0	= -50	+105,0	-74	5792
0,041	= -27,5	= -51	+ 97,5	-74	8192
0,026	= -32,0	= -55	+ 97,0	-74	11584

EM 42

(DT 48 mit Flachm.)

0,056	= -25,0	= -63	+112,0	-74	64
0,075	= -22,5	= -63	+114,5	-74	128
0,041	= -27,5	= -62	+108,5	-74	256
0,029	= -30,5	= -61	+104,5	-74	512
0,056	= -25,0	= -59	+108,0	-74	1024
0,06	= -24,5	= -58	+107,5	-74	1448
0,072	= -23,0	= -58	+109,0	-74	2048
0,051	= -26,0	= -59	+107,0	-74	2896
0,075	= -22,5	= -53	+104,5	-74	4096
0,072	= -23,0	= -50	+101,0	-74	5792
0,033	= -29,5	= -51	+ 95,5	-74	8192
0,022	= -33,0	= -55	+ 96,0	-74	11584

Tabelle XII

Eichpegel der Klemmenspannung für Beoton Audiometer (mit Förer
Holmberg Sk 1250 im Gebrauch). (Siehe Text Seite 29)

$$20 \lg \frac{U_H}{U_0} \text{ (dB)} = -20 \lg \ddot{u} \quad + 20 \lg \frac{p_K}{p_0} \quad + 20 \lg \frac{p_0}{p_1}$$

Spannungspegel (re 1V)	Übertragungs- maß des Sk 1250 am Kuppler (eigene Messung) (re $\frac{1}{\sqrt{V}}$ μbar)	Kupplerschalldruck- pegel für Sk 1250. Druckammerkorrektur- faktor (Tab.II,Z.2) addiert. (re $2 \cdot 10^{-4}$ μbar)	Korrekturfaktor für Bezugsschall- pegel = -74 dB
---------------------------	--	---	---

dB H-V. z.Z.
der Messung

Frequenz. Hz

	V	= dB (re 1V)			
65	1,5	= + 3,5 = -42	+119,5	-74	125
80	0,82	= - 1,5 = -42	+114,5	-74	250
90	0,53	= - 5,5 = -42	+110,5	-74	500
100	0,56	= - 5,0 = -44	+113,0	-74	1000
100	0,41	= - 7,5 = -47	+113,5	-74	1500
100	0,1	= $\pm$ 0 = -40	+114,0	-74	2000
95	0,1	= $\pm$ 0 = -34	+108,0	-74	3000
90	0,24	= -12,5 = -41	+102,5	-74	4000
85	1,6	= + 4,0 = -20	+ 98,0	-74	6000
75	1,2	= + 1,5 = -14	+ 89,5	-74	8000
70	2,0	= + 6,0 = -16	+ 96,0	-74	12000

13. L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

=====

1. Arentsschild v., O. "Hör- und Sprachbehindertenzentrum - Aufgabe der Hals-Nasen-Ohrenklinik" Medizinalmarkt 8 (1960) 166
2. American Standards Association Z 24. 5 - 1951
"American Standard Spezifikation for Audiometers for General Diagnostic Purposes"
3. American Standards Association Z 24. 12 - 1952
"American Standard Spezifikation for Pure-tone Audiometers for Screening Purposes"
4. American Standards Association S 3. 1 - 1960
"American Standard Criteria for Background Noise in Audiometer Rooms"
5. Beranek, L. L. "Acoustic Measurements"
J. Wiley & Sons New York 1948
6. Bezold, F. "Demonstration der kontinuierlichen Tonreihe in ihren neuen von Dr. Edelmann verbesserten Form"
Z. Ohrenheilk. 25 (1894) 66-67
zitiert nach Feldmann, H. (30)
7. Bocker, P. und Mrass, H. "Zur Bestimmung des Freifeldübertragungsmaßes von Kopfhörern"
Acustica 9 (1959) 61

8. British Standard 2042 : 1953
"An Artificial Ear for the Calibration
of the External Type"
9. British Standard 2497 : 1954
"The Normal Treshold of Hearing for
Pure Tones By Earphone Listining"
10. British Standard 2980 : 1958
"Pure-Tone Audiometers"
11. Bruel & Kjaer
"Artificial Ears"
Technical Review No. 4 (1961) 4
12. Bruel & Kjaer
"Artificial Ears"
Technical Review No. 1 (1962) 3
13. Burckhardt - Merian, A. "Vergleichende Ergebnisse verschiedener
Hörprüfungen"
Arch. Ohrenheilk. 22 (1885) 177-194 (30)
14. Chavasse, P. und Lehmann, R. "Contribution àl Etude du Zéro Absoludes
Audiomètres"
Acustica 7 (1957) 132
15. Coliss, E.L.R. and Burckhard, M.D.
"A Probe Tube Method for the transfer of
Treshold Standards between Audiometer
Earphones"
J. Acoust. Soc. Amer. 25 (1953) 990
16. Corso, J.F.
"Proposed Laboratory Standard of Normal
Hearing"
J. Acoust. Soc. Amer. 30 (1958) 14

17. Dadson, R.S. and King, J.H.
J. Laryngol. and Otol. London
60 (1952) 366
18. Davis, H. and Kranz, F. "International Audiometric Zero"
J. Acoustic. Soc. Amer. 36 (1964) 1450
19. Davis, H. and Kranz, F. "The International Standard Reference
Zero for Pure-Tone Audiometers and its
Relation to the Evalation of Impairment of
Hearing"
J. Speech and Hearing Research 7 (1964) 7
20. Davis, H. "The Evalation fo Hearing Handicap and the
International Zero Level for Audiometers"
Otologia Fukuoka 12 (1966) 1-4
21. Davis, H. "International Standard Reference Zero for
Pure-Tone Audiometry"
Trans. Amer. Acad Opthal. Otolaryng.
69 (1965) 112-118
22. Davis, H. "Reference Levels and Hearing Levels in
Otology"
Ann. of Otol. (St. Louis) 75 (1965) 808 -818
23. Davis, H. "The ISO-Zero-reference Levels for Audio-
meters"
Arch. Otolar (Chicago) 81 (1965) 145-149
24. Dieroff, H.G. "Eichung der Reintonaudiometer unter beson-
derer Berücksichtigung der akustischen
Eigenschaften verschiedener Kopfhörer-
formen"
Arch. Ohren usw. Heilk. und Hals usw.
Heilk. 174 (1959) 103 - 109

25. Diestel, H.G. "Zur Bestimmung der Druckempfindlichkeit von Mikrophonen"
Acustica 2 (1959) 398
26. Diestel, H.G. "Über die Ermittlung der ISC-Kuppler-schwellenschallpegel für den Kopfhörer Typ TDH-39 durch Vergleich mit einem Kopfhörer des Typs Beyer DT 48"
Bericht der Abt. V der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig, auf Antrag der Firma Hansaton, Rudolf G.E. Fischer KG., Hamburg 28.10.66
27. DIN 45620 "Audiometer zur Hörschwellenbestimmung"
Entwurf Nov. 1961
28. DIN 45623 "Audiometer für Reihenuntersuchungen"
Jan. 1963
29. Duchi, Y. and other "The Error of Threshold Measurement Inherent to Earphones"
Zentr. Bl. für Hals, Nasen-, Ohrenheilk. 69 (1960/61)
30. Feldmann, H. "Die geschichtliche Entwicklung der Hörprüfmethoden"
Thieme Verlag Stuttgart 1960
31. Glorig, A. , Quiggle, R., Wheeler, R.E. and Grings, W.J. J. Acoust. Soc. Amer. 28 (1956) 1110
32. Glorig, A. "Audiometric Reference Levels"
Laryngoscope 76 (1966) 842 - 849

33. Griesmann, B. "Neue Methoden zur Hörprüfung"
Passow-Schaeffers Beitr. Hals-, Nasen-,
Ohrenheilk. 16 (1921) 47 - 55
34. Güttner, W. "Standardisierung"
Zeitschrift für Hörgeräteakustik
4 (1965) 186 - 189
35. Hahlbrock, K.H. "Eichung, Standardisierung, Normung"
(Herausgeber: Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde
J. Berendes Thieme Verlag Stuttgart
R. Link Band III, Teil 1, (1965) 410
F. Zöllner)
36. Hahlbrock, K.H. "Standardisierungsvorschläge für die
Audiometrie"
Zeitschr. f. Laryng. 41 (1962) 528
37. Harris, J.D. "Earphone, Probe tube Microphony, and
Audiometric Zero"
J. Acoust. Soc. Amer. 28 (1956) 726
38. Holzer, O. und Diemling "Zur Frage der Eichung der Audiometer"
Monatsschrift für Ohrenheilk.
98 (1964) 445-450 Heft 10
39. Huizing, H.C. "The Relation between Auditory Fatigue
and Recruitment"
Acta oto-laryng (Stockholm)
Suppl. 78 (1948) 169
40. ISO R 389 1964 "Standard Reference Zero for the Calibra-
tion of Pure-tone Audiometers"
41. Ludwig, H. und Munchinger "Über die Kopfhörer mit schalldämpfenden
Muscheln für die Schwellenwertaudiometrie"
Pract. Oto. rhino.-laryng. 21 (1959) 322

42. Lüscher, E. "Derzeitige Hörprüfmethoden"
ENO (Berlin) 2 (1961) 308
43. Martens, E. Alex "Audiometercalibration"
J. Acoust. Soc. Amer. 36 (1964) 775
44. Meister, F. J. "Schallpegel, Lautheits- und Schädigungs-
bewertung des Ohres"
Archiv für Ohren-, Nasen- und Kehlkopf-
heilkunde 167 (1955) 450
45. Mrass, H. und Bocker, P. "Meßhörer und ihre Übertragungsmaße"
Z. f. Instr. 67 (1959) 235
46. Mrass, H. und Diestel, H.G. "Bestimmung der Normalhörschwelle für
reine Töne bei einohrigem Hören mit
Hilfe eines Kopfhörers"
Acustica 2 (1959) 61
47. Mrass, H. "Zur Standardisierung der Bezugsschwelle
von Reintonaudiometer"
Zeitschr. für Hörgeräteakustik
1 (1962) 12
48. Mulder, H. "Der in der Audiometrie zulässige Störpegel"
Fenestra (Philips)
49. Norme Francaise S 31 - 001 Nov. 1956
"Audiomètres"
50. Riley, E.C. et al "Audiometric Zero"
J. Acoust. Soc. Amer. 37 (1965) 924
51. Riley, E.C. et al "Critique on the Concept of Audiometric Zero"
Arch. Otolaryng. (Chicago)
81 (1965) 139-144

52. Schaefer, K.L. und Gruschke "Über einen neuen elektro-akustischen
Apparat zur Hörschwellenmessung
mittels einer kontinuierlichen Ton-
reihe"
Passow-Schaefer's Beitr. Hals-, Nasen-
Ohrenheilk. 16 (1921) 56-61 (30)
53. Schubert, K. "Hörermüdung und Hördauer"
Zeitschr. Hals-, Nasen-, Ohrenheilk.
51 (1944) 19
54. Siedentop, K.H. et al "Auditory Treshold determination"
Arch. Otolaryng. 83 (1966) 206-303
55. Sivian, L.J. and White J. Acoust. Soc. Amer. 4 (1953) 288
56. Steinberg, J.C., Montgomery, H.C. and Gardner, M.B.
J. Acoust. Soc. Amer. 12 (1940) 366
57. Steinberg, J.C., Montgomery, H.C. und Gardner, M.B.
"Results of the Word's Fair Hearing
Tests"
J. Acoust. Soc. Amer. 12 (1940) 291
58. Wheeler, L.J. and Dickson, E.D.D.
J. Laryngol. and Otol. 66 (1952) 379
59. Whittle, L.S. and Robinson, D.W.
"British Normal Treshold of Hearing"
Nature 289 No. 4765 (1961) 617-618
60. Wien, M.
"Über die Empfindlichkeit des
menschlichen Ohres für Töne ver-
schiedener Höhe"
Pflug. Arch. Ges. Physiol. 97 (1903)
1 ff.
zitiert nach (30)

61. Wilson, W.H. "Determination of susceptibility to abnormal auditory fatigue"
Ann. Otol. (St. Louis) 52 (1944) 19
62. Wiese, M.E. "A statistical analysis of human hearing treshold in a very population"
Acustica 13 (1953) 146 ff.
63. Wolke "Nachricht von den zu Jevers durch die galvani-voltaische Gehörgebekunst beglückten Taubstummen"
Oldenburg 1802 zitiert nach (30)

14. D a n k s a g u n g

=====

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. H.H. Naumann
für das fördernde Interesse an der Arbeit.

Für den Vorschlag zu diesem Thema, die ständige Betreuung
meiner Arbeit, viele förderliche Hinweise sowie die stete
Bereitschaft zu Rat und Hilfe möchte ich mich besonders
bei Herrn Dr. med. O. v.Arentsschild bedanken.

Herrn Dr.-Ing. R. Fischer möchte ich für die Durchsicht
der Arbeit in technischer Hinsicht, viele Anregungen und
die Bereitstellung von Geräten des akustischen Labors
danken, ebenso den Herren Technikern G. Riehle und H. Claus
für ihre ständige Hilfsbereitschaft.

Die technischen Messungen sind zum Teil mit Geräten
durchgeführt worden, die als Leihgabe von der Deutschen
Forschungsgemeinschaft zur Verfügung gestellt wurden.

15. Lebenslauf
=====

Am 8. September 1937 wurde ich, Klaus-Jürgen Franz Felshart als der Sohn des Bankangestellten Johannes Felshart und seiner Ehefrau Magdalene, geborene von Gliszczynski, in Berlin geboren.

Von 1943 bis zur Flucht 1945 evakuiert in Westpreußen.
1945 Einschulung in Berlin.

1951 Umschulung auf die Robert-Blum-Schule in Berlin-Schöneberg.

1958 Abitur auf der gleichen Schule.

Danach Medizinstudium in Berlin, Würzburg und Wien.

1960 Vorphysikum in Würzburg.

1962 Physikum in Berlin.

1966 Staatsexamen in Berlin.

Zwei Semester war ich während des Studiums beurlaubt.

Vom 1. Juli 1966 bis 15. November arbeitete ich auf einer inneren Abteilung im Krankenhaus am Kreuzberg als Medizinalassistent.

